

Ville Rytönen

Vikojen tallentaminen ja tiedonsiirto generaattorisuojauksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

17.11.2014

Alkusanat

Tämä insinöörityö on tehty Fortumin energia-alan asiantuntijapalveluita tuottavalle Power Solutions -yksikölle. Työni ohjaajana Fortumilta toimi TkL Olli Lindgren. Osoitan lämpimät kiitokset Ollille tärkeistä neuvoista ja kommenteista työn sisältöön, kirjalliseen tuotokseen ja sen ulkoasuun liittyen.

Työtoverini ovat olleet suurena apuna minulle, ja erityisesti kiitän Pentti Hulkkosta tärkeistä neuvoista ja avusta myös tätä työtä tehdessäni. Kiitän myös Tomi Timosta ja Teemu Lambergiä avusta ja opastuksesta käytännön töissä.

Isäni on ollut arvokkaana ammatillisena tukena koko opintojeni ajan, josta kiitän häntä. Kiitos kuuluu myös vaimolleni, joka on osoittanut tukea ja ymmärrystä opintojeni aikana.

Vantaalla 17.11.2014

Ville Rytönen

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Rytönen Vikojen tallentaminen ja tiedonsiirto generaattorisuojauksessa 29 sivua + 3 liitettä 17.11.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Tuotepäällikkö Olli Lindgren, Fortum Lehtori Sampsa Kupari, Metropolia
<p>Insinöörityössä selvitettiin käyttökelpoisimmat tiedonsiirtomenetelmät vikatallenteiden siirtoon sekä eri tiedonsiirtomenetelmien soveltuvuuksia eri tarkoituksiin generaattorisuojauksessa. Työn lähtökohtana oli voimalaitosten järjestelmätekniisten vaatimusten sisältämät edellytykset mittaukselle ja tiedonvaihdolle.</p> <p>Tiedonsiirtomenetelmien vertailemiseksi selvitettiin kovan johdotuksen, sarjaväylien, kenttäväylien ja Ethernetin tärkeimmät ominaisuudet. Selvitys tehtiin alan kirjallisuuden ja laitevalmistajien dokumenttien pohjalta. Käytännön näytteeksi käsiteltävistä asioista tallennusta ja tiedonsiirtoa simuloitiin yksinkertaisella testausjärjestelyllä.</p> <p>Selvityksen tuloksena osoittautui, että monipuolisin tiedonsiirtomenetelmä generaattorisuojauksen tarpeisiin on Ethernet, joka mahdollistaa tallenteiden, tila- ja mittaustietojen siirron sekä releen hallinnoinnin. Kenttäväylä soveltuu tila- ja mittaustietojen siirtoon, ja sarjaväylä releen hallinnointiin ja tallenteiden siirtoon. Kenttä- ja sarjaväylän rinnakkain käyttäminen mahdollistaa samat ominaisuudet kuin Ethernetin käyttö. Ethernetin etuna näihin nähden on se, että kaikki data saadaan yhden väylän kautta.</p>	
Avainsanat	generaattorisuojaus, vikatallenne, häiriötallennus, heilahtelutallennus, tiedonsiirto, kenttäväylä, Ethernet, VJV 2013

Author Title Number of Pages Date	Ville Rytönen Fault Recording and Data Transfer in Generator Protection System 29 pages + 3 appendices 17 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Olli Lindgren, Product Manager Sampsä Kupari, Senior Lecturer
<p>The aim of the thesis was to find out the most useful methods to transfer fault records from recorder device and to clarify usability of different data transfer methods for different purposes at generator protection system. The starting point for the work was specifications for the operational performance.</p> <p>To compare different data transfer methods, the most important characteristics of the hard-wiring, serial bus, field bus and Ethernet were clarified. The clarification was done based on literature of the industry and technical documents of device manufacturers. Fault recording and data transferring were simulated with a simple testing system.</p> <p>The result of the work shows that the most all-around data transfer method for generator protection is Ethernet, which makes possible transferring of fault records, relay status and measuring data, and relay management too. Field bus is suitable to transferring relay status and measuring data. Serial bus can be used for relay management and transferring of fault records. Using field bus and relay bus together, it's possible to get the same functions as using Ethernet. However, the benefit of Ethernet is that all data are transferred by one bus.</p>	
Keywords	generator protection, fault record, disturbance recording, power swing recording, data transfer, field bus, Ethernet, VJV 2013

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Voimalaitoksia koskevat vaatimukset	2
2.1	Taustaa voimalaitosten järjestelmäteknisille vaatimuksille Suomessa	2
2.2	Vuoden 2013 järjestelmäteknisten vaatimusten tarkastelu	3
2.3	Vaatimukset mittaukselle ja tiedonvaihdon VJV 2013:n mukaan	4
3	Generaattori osana sähköverkkoa	6
3.1	Tahtigeneraattorin toiminta	6
3.1.1	Tahtigeneraattorin toimintaperiaate	6
3.1.2	Tahtigeneraattorin magnetointi	6
3.1.3	Tahtigeneraattorin tahdistus	8
3.2	Generaattorin suojaus	8
3.2.1	Ulkoisilta vioilta ja tapahtumilta suojautuminen	9
3.2.2	Sisäisiltä vioilta suojautuminen	9
3.2.3	Generaattorin suojausjärjestelmä	10
3.2.4	Suojareleet generaattorisuojauksessa	11
4	Sähköverkon ja generaattorin vikojen tallentaminen	12
4.1	Häiriöt sähköverkossa ja generaattorissa	12
4.2	Tehonheilahtelut sähköverkossa	12
4.3	Häiriötallennus	14
4.4	Heilahtelutallennus	15
4.5	Häiriö- ja heilahtelutallentimet	15
5	Tiedonsiirtotekniikat generaattorisuojauksessa	16
5.1	Numeerisen suojareleen sisään- ja ulostulot	16
5.1.1	Analogiset signaalit	16
5.1.2	Binääriset signaalit	16
5.1.3	Digitaaliset signaalit	16
5.2	OSI-malli	17
5.3	Sarjaväylä RS-232	17

5.4	Sarjaväylä RS-485	18
5.5	Kenttäväylät	18
5.5.1	Kenttäväylät yleisesti	18
5.5.2	Esimerkkinä Profibus	20
5.6	IEC-61850 ja Ethernet	20
5.7	Suojareleiden huoltoväylä	21
5.8	Eri tiedonsiirtomenetelmien käytettävyys generaattorijärjestelmässä	22
5.8.1	Binäärinen ulostulo kovalla johdotuksella	22
5.8.2	Sarjaväylä	23
5.8.3	Kenttäväylä	23
5.8.4	Huoltoväylä	23
5.8.5	Ethernet	23
6	Generaattorisuojauksen vikatallennuksen ja tiedonsiirtomenetelmien simulointi	24
6.1	Käytetyt laitteet ja simulaattorijärjestely	24
6.2	Häiriötallennus	25
6.3	Heilahtelutallennus	26
6.4	Reaaliaikaiset toiminnot	27
6.5	Yhteenveto simuloinnista	28
7	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1 Numeerisen suojareleen sisääntulot ja ulostulot	
	Liite 2 Häiriötallenne	
	Liite 3 Heilahtelutallenne	

Lyhenteet

VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Fingrid Oyj:n asettamat vaatimukset sähköverkkoon liitettäville voimalaitoksille.
OSI	Open System Interconnection. Tietoliikenteen referenssimalli, johon kaikkia tiedonsiirtoprotokollia verrataan.
IEC	International Electrotechnical Committee. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
ANSI	American National Standards Institute. Amerikkalainen standardoimislaitos.

1 Johdanto

Fortum on Pohjoismaissa, Venäjällä, Puolassa ja Baltian maissa toimiva energiayhtiö. Ydinliiketoimintaa on sähkön ja lämmön tuotanto, myynti ja jakelu sekä energia-alan asiantuntijapalvelut. Liiketoiminta-alueet ovat Power and Technology; Heat, Electricity Sales and Solutions; Russia sekä Distribution. Tämä insinöörityö on tehty Power Solutions yksikölle, joka on Power and Technology –segmenttiin kuuluva asiantuntijapalveluita tuottava yksikkö. Fortumin tärkeimmät energiantuotantomuodot ovat sähkön ja lämmön yhteistuotanto, ydinvoima sekä vesivoima.

Suomen sähköverkkoon liitettäville voimalaitoksille on esitetty uudistetut vaatimukset vuonna 2013. Vaatimukset koskevat uusia verkkoon liitettäviä voimalaitoksia sekä niitä vanhoja laitoksia, joiden järjestelmätekniisiä ominaisuuksia muutetaan. Näihin vaatimuksiin sisältyvät myös vaatimukset voimalaitoksen mittaukselle ja tiedonvaihdolle. Vika- tai häiriötapauksissa vian selvittäminen, paikallistaminen ja sen syiden selvittäminen on tärkeää. Vikatilanteista on tehtävä tallenteet, joiden siirtämiseen tallentimelta eteenpäin on tietyt vaatimukset.

Tänä päivänä generaattorisuojauksessa on käytössä erilaisilla tiedonsiirtomenetelmillä toteutettuja järjestelmiä: mm. perinteisellä kovalla johdotuksella, sarjaväylillä, erilaisilla kenttäväylillä ja Ethernetillä toteutettuja. Mm. nykyinen kenttäväylätarjonta on standardoinnista huolimatta kirjavaa, ja mahdollisuuksia on monia. Eri menetelmät eroavat toisistaan tiedonsiirto-ominaisuuksiltaan ja teknologialtaan.

Tässä insinöörityössä perehdytään generaattorijärjestelmän vikatallennukseen ja tiedonsiirtomenetelmiin vaatimusten pohjalta. Työn tavoitteena on selvittää eri tiedonsiirtomenetelmien soveltuvuuksia eri tarkoituksiin ja selvittää käyttökelpoisimmat tiedonsiirtomenetelmät vikatallenteiden siirtämiseen.

2 Voimalaitoksia koskevat vaatimukset

Sähkön tuotannon, siirron ja jakelun luotettavuuden ja vakauden turvaamiseksi on verkon osien täytettävä tietyt vaatimukset. Ohjeita ja sääntöjä sähköverkkojen toimintaan liittyen on vuosien varrella annettu sekä kansainvälisesti että kansallisesti. Yleisesti kansainväliset säännöt toimivat pohjana kansallisille määräyksille ja säännöille.

2.1 Taustaa voimalaitosten järjestelmäteknisille vaatimuksille Suomessa

Pohjoismaissa on toiminut yhteispohjoismaalainen yhteistyöelin Nordel, jonka tarkoituksena oli kehittää ja yhdenmukaistaa pohjoismaalaisia sähkömarkkinoita. Nordel julkaisi mm. suosituksia sähköverkkosuosituksia. Vuonna 2007 Suomi, Tanska, Norja ja Ruotsi hyväksyivät yhteisen sähköverkkoja koskevan sääntökokoelman *Nordic Grid Code*, johon kunkin maan sähköverkkoon liittyvät vaatimukset pohjautuvat. Vuonna 2009 Nordelin toiminnot siirtyivät yhteiseurooppalaiseen Entso-E:hen. Kansainväliset sääntökokoelmat ja ohjeistukset antavat reunaehdot, ja kansalliset säännöt ja vaatimukset sisältävät yksityiskohtaiset ja tarkentavat ohjeet. [Entso-E 2014.]

Suomen kantaverkko koostuu 400, 220 ja 110 kilovoltin verkosta sekä yli sadasta sähköasemasta. Se kuuluu yhteispohjoismaiseen sähköjärjestelmään, jolla on yhteys Keski-Euroopan sähköjärjestelmään. Lisäksi Suomesta on erilliset yhteydet Venäjälle ja Viroon. Sähkönsiirrosta Suomen kantaverkossa ja sähkönsiirron ulkomaanyhteyksistä vastaa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj. Fingridin vastuualueeseen kuuluvat kantaverkon käytön suunnittelu ja valvonta. Pystyäkseen täyttämään vastuunsa Fingridillä on oltava ajantasaiset tiedot verkossa olevista voimalaitoksista ja niiden tilasta, ja voimalaitosten on täytettävä tietyt vaatimukset, jotta sähkönsiirto toimisi luotettavasti. [Fingrid 2014.]

Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2000 (VJV 2000) perustuu Nordelin suositukseen "Operational Performance Specifications for Thermal Power Units larger than 100 MW" [Fingrid 2000: 1] ja VJV 2007 Nordelin sääntökokoelmaan "Nordic Grid Code". Nämä vaatimukset ovat pitkälti saman sisältöisiä, mutta VJV 2007:ssä vaatimuksia on laajennettu koskemaan voimalaitoksia 10 MW:n nimellistehosta alkaen, kun VJV 2000 koski 50 MW ja sitä suurempia voimalaitoksia. Vaatimukset koskevat pääosin seuraavia asioita: generaattorin jännitteensäätö, toiminta poikkeavalla taajuudella,

toiminta poikkeavalla jännitteellä ja tehonsäätö sekä lisäksi VJV 2007:ssä tiedonvaihto. [Fingrid 2007: 1.] Uusimmat vaatimukset vuodelta 2013 on esitetty VJV 2013:ssa.

2.2 Vuoden 2013 järjestelmätekniisten vaatimusten tarkastelu

Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset 2013 on huomattavasti laajempi aikaisempiin vaatimuksiin verrattuna. VJV 2013 perustuu VJV 2007:n tavoin Nordelin sääntökokoelmaan "Nordic Grid Code". [Fingrid 2013: 6] Vaatimuksiin sisältyvät

- vaatimusten todentamisprosessi, jatkuva seuranta ja niihin liittyvät vastuut
- voimalaitostietojen dokumentointi ja toimittaminen
- mittaukset ja tiedonvaihto voimalaitoksen toiminnan aikana
- VJV-referenssipiste, suojaus, sähkön laatu ja pimeäkäynnistys
- voimalaitoksen toiminta erilaisilla jännitteillä ja taajuuksilla
- tahtikonevoimalaitoksia koskevat vaatimukset
- tuulivoimalaitoksia koskevat vaatimukset.

Perusteet vaatimuksille esitetään VJV 2013:n johdannossa:

Järjestelmätekniisten vaatimusten asettamisella pyritään varmistamaan, että

- voimalaitos kestää sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut,
- voimalaitos tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteiden yhteydessä sekä toimii luotettavasti niiden aikana ja niiden jälkeen,
- voimalaitos ei verkossa ollessaan aiheuta haittaa muille sähköjärjestelmään kytketyille laitteille, ja että
- Liittymispisteen verkonhaltijalla ja Fingridillä on käytössään sähköjärjestelmän ja sen käytön suunnitteluun sekä käyttövarmuuden ylläpitoon tarvittavat tiedot voimalaitoksesta. [1, s. 6.]

2.3 Vaatimukset mittaukselle ja tiedonvaihdolle VJV 2013:n mukaan

Tässä työssä keskitytään voimalaitosten mittaus- ja tiedonvaihtovaatimuksiin, jotka sisältävät teholuokan 4 laitoksilla häiriö- ja heilahtelutallennusjärjestelmät. Vaatimukset mittaukselle ja tiedonvaihdolle voimalaitoksen toiminnan aikana on esitetty VJV 2013:n luvussa 8. Vaatimusten taso riippuu voimalaitoksen teholuokasta. Teholuokkien määrittely on taulukossa 1.

Taulukko 1. Taulukko 1 VJV 2013:n mukaiset voimalaitosten teholuokat [Fingrid 2013: 10].

Teholuokka 1	$0,5\text{MW} \leq P_{\max} < 10\text{MW}$
Teholuokka 2	$10\text{MW} \leq P_{\max} < 25\text{MW}$
Teholuokka 3	$25\text{MW} \leq P_{\max} < 100\text{MW}$
Teholuokka 4	$P_{\max} \geq 100\text{MW}$ (ja tietyt $\geq 10\text{MW}$ laitokset La-pissa).

Mittaus- ja tiedonvaihtovaatimukset teholuokan 1 voimalaitoksille.

Teholuokan 1 voimalaitoksilta vaaditaan reaaliaikainen tehomittaustieto Fingridille, joka voidaan tämän teholuokan laitoksilta toimittaa tuottajakohtaisena summana.

Mittaus- ja tiedonvaihtovaatimukset teholuokkien 2-3 voimalaitoksille

Teholuokkien 2 ja 3 voimalaitoksilta tulee toimittaa reaaliaikainen pätö- ja loistehomittaustieto, tuntikohtaiset energiamittaustiedot sekä kytkinlaitteiden tilatiedot Fingridille.

Mittaus- ja tiedonvaihtovaatimukset teholuokan 4 voimalaitoksille

Teholuokan 4 voimalaitoksille on samat vaatimukset kuin teholuokkien 2 ja 3 voimalaitoksille, ja näiden lisäksi niissä on oltava häiriö- ja heilahtelutallentimet. Häiriö- ja heilahtelutallentimien avulla voidaan tallentaa sähköjärjestelmän häiriö- ja muutostilanteiden aikaiset voimalaitoksen ja sen säätäjien toiminnat. Tallennusjärjestelmälle on VJV 2013 luvussa 8.3 seuraavat vaatimukset [Fingrid 2013: 24]:

- 1) Häiriötallentimen näytteenotto- sekä tallennustaajuuden tulee olla korkea (1 kHz tai suurempi). Tallennusajan tulee olla muutamia sekunteja.
- 2) Heilahtelutallentimen näytteenottotaajuuden tulee olla korkea (1 kHz) ja tallennustaajuus voi olla matala (50 Hz tai suurempi). Tallennusajan tulee olla kymmeniä sekunteja.
- 3) Tallennusjärjestelmät tulee toteuttaa siten, että Fingrid saa käyttöönsä järjestelmän tallenteet viimeistään 24 tunnin kuluessa siitä, kun Fingrid esittää pyynnön Liittyjälle.
- 4) Tallennusjärjestelmien käynnistymisarvot VJV-referenssipisteeseen liittyvien suureiden osalta tulee asetella yhteistyössä Fingridin kanssa.

3 Generaattori osana sähköverkkoa

Generaattoreita on kolmea eri tyyppiä: tahtigeneraattorit, epätahtigeneraattorit ja tasasähkögeneraattorit. Voimalaitosgeneraattorin voimakoneena voi olla vesi-, tuuli-, kaasu- tai höyryturbiini. Kaikki tässä käytössä olevat ovat tahtigeneraattoreita, lukuun ottamatta eräitä tuulivoimaloita, joissa käytetään epätahtigeneraattoreita [Tuulivoimapuistojen generaattori- ja tehoelektroniikkaratkaisut: 1].

3.1 Tahtigeneraattorin toiminta

3.1.1 Tahtigeneraattorin toimintaperiaate

Tahtigeneraattori on sähköä tuottava sähköverkon tahdissa pyörivä sähkökone. Se koostuu kahdesta pääkomponentista: roottorista eli pyörijästä ja staattorista eli seisojasta.

Pyörivän roottorin yksivaiheiseen käämitykseen syötetään tasasuuntaista magnetointivirtaa. Magnetointivirta synnyttää roottorin käämityksen ympärille magneettikentän. Roottorin pyöriessä myös magneettikenttä pyörii indusoiden staattorikäämitykseen sinimuotoisen jännitteen. Tätä kutsutaan päälähdejännitteeksi. Magnetointivirran suuruus määrää magneettikentän voimakkuuden ja näin myös indusoituvan jännitteen suuruuden. [Mörsky 1992: 214-217.]

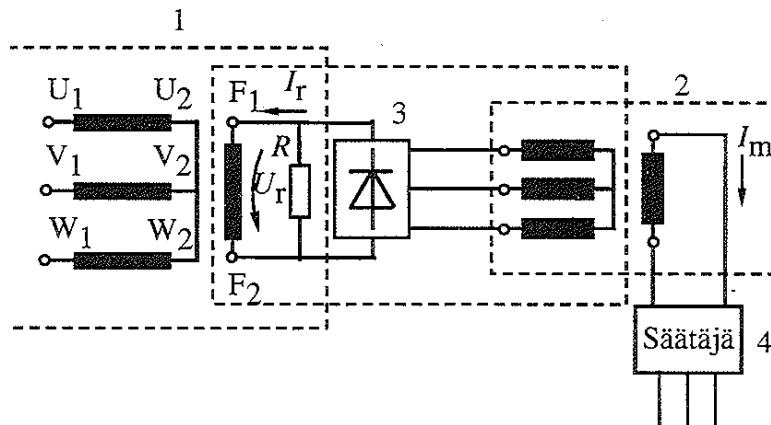
Kolmivaiheinen staattorikäämitys on toisesta päästä tähtikytkenässä ja toinen pää, ns. kuuma pää kytketään verkkoon. Kun generaattorin liittimiin kytketään kuormaa, eli käytännössä kun se kytketään verkkoon, alkaa staattorikäämityksessä kulkea virtaa.

3.1.2 Tahtigeneraattorin magnetointi

Magnetointimenetelmät voidaan jakaa harjattomaan ja harjalliseen eli staattiseen magnetointiin.

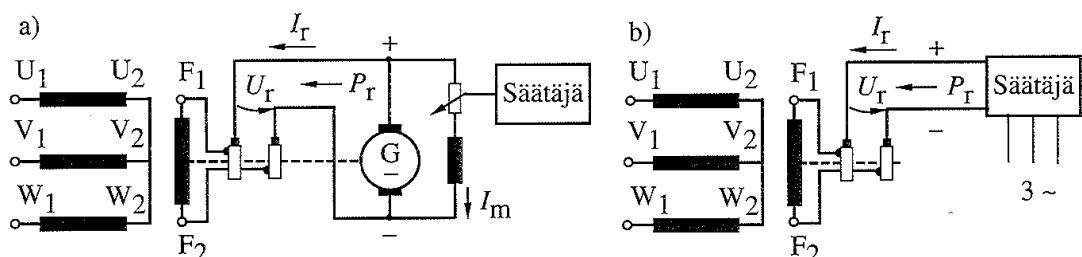
Harjattomassa magnetoinnissa tahtikoneen roottorin akselilla on lisäksi pieni pyörivä magnetointikone, joka koostuu magnetointikoneesta ja apumagnetointikoneesta. Apumagnetointikoneen roottorissa on kestopagneetit, ja roottorin pyöriessä siinä olevat

kestomagneetit synnyttävät magneettikentän, joka indusoi jännitteen staattorilla olevaan käämitykseen. Tämä johdetaan jännitesäätäjälle, jonka kautta jännite vietään päämagnetointikoneen staattoriin, josta se indusoituu roottorikäämitykseen. Samalla akselilla on tasasuuntaussilta, joka tasasuuntaa jännitteen pääkoneen roottorikäämitystä varten. Kuvassa 1 esitetään harjaton magnetointi ulkoisella apukoneen magnetointivirran syötöllä. [Emerson Process Management 2011:4.]



Kuva 1. Harjaton magnetointi [Aura & Tonteri 1996: 219]

Harjallisessa eli staattisessa magnetoinnissa käytetään erillistä jännitelähdettä. Kuvassa 2 esitetään harjallinen magnetointi sekä tasasähkö- että vaihtosähkölähteestä. Mikäli käytetään vaihtojännitelähdettä, jännite on tasasuunnattava. Siihen käytetään tasasuuntaussiltaa, joka on toteutettu diodeilla tai tyristoreilla. Tasasuunnattu magnetointivirta johdetaan hiiliharjojen ja liukurenkaiden kautta roottorin käämitykseen. Tasasuuntaussiltaa ohjataan jännitesäätäjällä. [Aura & Tonteri 1996: 217-219.]



Kuva 2. Harjallinen magnetointi. a) magnetointi tasasähkölähteestä b) magnetointi vaihtosähkölähteestä [Aura & Tonteri 1996: 218]

3.1.3 Tahtigeneraattorin tahdistus

Tahtigeneraattorin tai suuremman kokonaisuuden kytkemistä jännitteiseen sähköverkkoon oikea-aikaisesti kutsutaan tahdistukseksi. Tahdistus voi tapahtua generaattorikatkaisijalla tai verkkokatkaisijalla. Esimerkiksi voimalaitoksen omakäyttöjärjestelmä on valmiiksi verkossa, ja generaattori tahdistetaan verkkoon generaattorikatkaisijalla.

Voi olla myös tilanne, jossa yksi tai useampi generaattori syöttää saareketta, joka voidaan kokonaisuudessaan tahdistaa verkkoon. Esimerkkinä tästä voi olla tilanne, että verkossa esiintyvän vian vuoksi yhteyttä verkkoon ei ole, jonka johdosta teollisuuslaitoksen yhteydessä oleva voimalaitos syöttää yksinään teollisuuslaitosta. Kun verkon tila palautuu normaaliksi, kokonaisuus voidaan tahdistaa verkkoon verkkokatkaisijalla.

Tahdistettavan generaattorin vaihejärjestys on oltava sama kuin verkon vaihejärjestys. Kytkettäessä tahtigeneraattori verkkoon on verkon ja generaattorin oltava samassa tahdissa. Toisin sanoen katkaisijan napojen välinen jännite-ero, kulmaero ja taajuusero on oltava mahdollisimman pieni, optimaalisessa tilanteessa nolla. Mikäli tahdistus tapahtuu riittävän tarkasti, verkkoon liittyessään generaattori on käytännössä tyhjäkäynnissä, eli se ei syötä eikä ota virtaa sähköverkosta. Generaattorin ollessa tahdistettuna verkkoon, sen tehoa voidaan alkaa nostaa. [Aura & Tonteri 1996: 232.]

Tahdistus on virheellinen, mikäli katkaisija suljetaan, vaikka tahdistusehdot eivät ole voimassa. Tällöin joko jännitteen suuruus-, kulma- tai taajuusero on liian suuri katkaisijan napojen välillä, ja katkaisijan sulkeutuessa syntyy suuria transienttivirtoja sekä staattori- että roottorikäämykseen. Virhetahdistus voi myös aiheuttaa suuria momentti-transienteja voimakoneen ja generaattorin akselille.

3.2 Generaattorin suojaus

Generaattorin suojaustarpeet määräytyvät generaattorin koon ja tyytin mukaan. Suurikokoinen ja kallis generaattori on järkevää suojata monipuolisesti ja perusteellisesti. Toisaalta pienempään ei välttämättä ole taloudellista tehdä kaikkia mahdollisia suojaustoimintoja. [Mörsky 1992:141; Elovaara & Haarla 2011: 374.] Korjaus- ja huoltokustannukset ovat suuria, ja sähköntuotannon keskeytyminen on kallista. Siksi generaattorin suojaaminen vioilta on ensiarvoisen tärkeää.

Generaattorille ja turbiinille haitallisia vikoja voivat aiheuttaa verkon puolen ja turbiinijärjestelmän häiriöt ja viat sekä generaattorin sisäiset viat. Taulukossa 2 on esimerkki erikokoisilla generaattoreilla käytettävistä suojausfunktioista. Generaattorin suojausfunktiot ovat standardoituja, ja ANSI:n funktiokohtaiset koodit ovat yleisesti käytössä. ANSI (American National Standards Institute) on amerikkalainen standardoimislaitos.

3.2.1 Ulkoisilta vioilta ja tapahtumilta suojautuminen

Generaattoriin vaikuttavia ulkopuolisia sähköisiä vikoja voi esiintyä generaattorin kiskossa, muuntajassa tai verkossa. Turbiinin puolen viat vaikuttavat myös generaattoriin. Kaikki häiriöt eivät ole suoraan haitallisia generaattorille, mutta joko järjestelmän toiminnan tai turbiinin suojaamiseksi on tällaiset tilanteet estettävä tai niiltä on suojaututtava.

Verkon puolella tapahtuvat oikosulut aiheuttavat generaattorissa ylivirtoja ja jännitteen alenemaa [Mörsky 1992:143]. Suuren kuorman äkillinen putoaminen tai häiriö turbiinisäätäjässä voi saada turbogeneraattorin ryntäämään, eli taajuuden äkillisesti nousemaan. Tämä voi aiheuttaa jännitteen nousua, värähtelyä ja mekaanisia vaurioita sekä generaattorissa että turbiinissa. [Mörsky 1992: 166.] Tilanteessa, jossa turbiini ei jostain syystä pysty tuottamaan riittävästi mekaanista tehoa, generaattori alkaa pyörittää turbiinia. Tällaista tapahtumaa, jossa verkko syöttää tehoa generaattorille, kutsutaan takatehoksi. [Mörsky 1992: 165.]

3.2.2 Sisäisiltä vioilta suojautuminen

Itse generaattori on myös altis vioille. Vioille sen voi altistaa generaattorin eristeiden vanheneminen ja ulkopuoliset tapahtumat, kuten verkossa tai turbiinissa tapahtuvat häiriöt ja viat. Ulkopuolisista tekijöistä johtuvat ylivirrat, ylijännitteet ja poikkeavat taajuudet aiheuttavat vikoja generaattorin käämityksessä.

Staattorikäämityksessä voi esiintyä kierrossulkuja, käämisulkuja ja maasulkuja. Kierrossulussa yhden käämin kaksi tai useampi kierrosta menevät oikosulkuun. Käämisulussa eri vaiheiden käämit menevät oikosulkuun. Maasulussa tulee oikosulku käämin ja maan välille. Kaikissa näissä tilanteissa eriste on jostain syystä pettänyt, ja on syntynyt johtava virtatie eristeen läpi. [Mörsky 1992: 154-153.]

Roottorikäämitys on yksivaiheinen ja siinä kulkee tasavirtaa. Roottorin magnetointipiiri on maadoittamaton komponentti. Mikäli roottorikäämin ja rautasydämen välille syntyy maasulku, se yksinään ei häiritse generaattorin toimintaa, eikä aiheuta vaurioita. Roottorin maasulku voi kuitenkin kehittyä nopeasti kaksoismaasuluksi, jolloin roottorin magnetointivirta kasvaa rajusti. Siksi jo ensimmäisen maasulun vuoksi kone on pysäytettävä ja vika korjattava. [Mörsky 1992: 157-160.]

Taulukko 2. Esimerkki suojausfunktioista eri kokoisissa generaattoreissa [Siemens 2008: 11/35].

Suojausfunktio	ANSI	Nimellisteho [MVA]		
		< 10	10-100	> 100
Erovirta	87G	x	x	x
Staattorin maasulku 90%	59N,64G,67G	x	x	x
Roottorin maasulku	50/51GN	x	x	x
Herkkä maasulkusuoja	51GN	x	x	x
Staattorin ylikuorma	49	x	x	x
Ylivirta	50/51/67, 51V	x	x	x
ylijännite	59	x	x	x
alijännite	27	x	x	x
taajuus	81	x	x	x
takateho	32R	x	x	x
ylimagnetointi	24	x	x	x
minimiteho	32F	x	x	x
alimagnetointi	40	x	x	x
vinokuorma	46	x	x	x
vahinkokäynnistys	50/27		x	x
staattorin maasulku 100%	59TN, 27TN 3rd		x	x
ali-impedanssi	21		x	x
Kierrossulku	59N (IT)		x	x
käynnistys-ylivirta	51			x
nolla-erovirta	87GN			x
epätahti	78			x

3.2.3 Generaattorin suojausjärjestelmä

Generaattorin suojausjärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa generaattorin turvallinen käyttö. Häiriön sattuessa häiriön edellytykset on poistettava mahdollisimman no-

peasti vahinkojen ehkäisemiseksi. Generaattorin suojausjärjestelmä koostuu mittamuuntajista, suojareleista ja toimilaitteista.

Mittamuuntajat sijaitsevat generaattorijärjestelmän ensiöpiirissä, eli käytännössä suurjännitepiirissä. Nämä muuttavat ensiöpiirin jännitteet ja virrat suojausjärjestelmän mittaaville elimille sopiviksi.

Suojareleet valvovat mittamuuntajien antamia suureita, ja tekevät laskelmia niiden perusteella. Jos jokin arvo saavuttaa asetellun havahtumisarvon, rele antaa hälytyksen tai laukaisun asettelujen mukaisesti. Rele antaa laukaisukäskyjä toimilaitteille, kuten generaattorikatkaisijalle, kenttäkatkaisijalle tai turbiinin pikasulkuventtiilille.

Toimilaitteita turbogeneraattorijärjestelmässä ovat generaattorikatkaisija, kenttäkatkaisija ja turbiinin pikasulkuventtiili. Generaattorikatkaisija irrottaa generaattorin verkosta vikatilanteessa. Tällöin kuorma poistuu generaattorin navoista, eikä staattorikäämityksessä enää kulje virtaa. Kenttäkatkaisija katkaisee magnetointivirran roottorista. Mikäli magnetointi jäisi päälle seisovaan koneeseen, jäähdytys ei toimisi, ja roottorikäämitys vaurioituisi lämmön vuoksi. Turbiinin pikasulkuventtiili pysäyttää turbiinin es-tämällä höyryn syötön turbiiniin.

3.2.4 Suojareleet generaattorisuojauksessa

Ensimmäiset suojareleinä käytetyt releet olivat ensiöpiiriin kytkettäviä sähkömekaanisia releitä. Toisioreleiden myötä mittauksen tarkkuus parani. Sähkömekaanisten releiden tarvitsema teho otetaan mittamuuntajan kautta. Tämä voi huonontaa mittauksen tarkkuutta tietyissä tilanteissa, mutta releen ottaman suuren tehon vuoksi häiriöiden vaikutus on pieni. [Mörsky 1992: 21.]

Generaattorisuojana käytetään useamman releen sijaan monta toimintoa yhdistäviä digitaalisia eli numeerisia releitä, joita kutsutaan myöskin suojausyksiköksi (*protection unit*) ja generaattorin monitoimireleeksi (*multifunction generator protection relay*). Generaattorilta mitataan virtoja ja jännitteitä virta- ja jännitemuuntajien avulla. Toisiovirrat ja -jännitteet menevät suojareleelle, joka valvoo generaattorin toimintaa. Mikäli joku arvoista muuttuu liikaa asetteluarvoon nähden, rele antaa hälytyksen tai laukaisun asettelujen mukaisesti. [Elovaara & Haarla 2011: 374.]

4 Sähköverkon ja generaattorin vikojen tallentaminen

Sähköverkossa voi esiintyä normaalista toiminnasta poikkeavia tapahtumia, jotka VJV 2013:ssa on jaettu häiriöihin ja tehonheilahteluihin. Näistä tapahtumista on vaatimusten mukaan tehtävä tallenteet. Tässä luvussa käsitellään häiriöitä, heilahteluita ja näiden tallentamista.

4.1 Häiriöt sähköverkossa ja generaattorissa

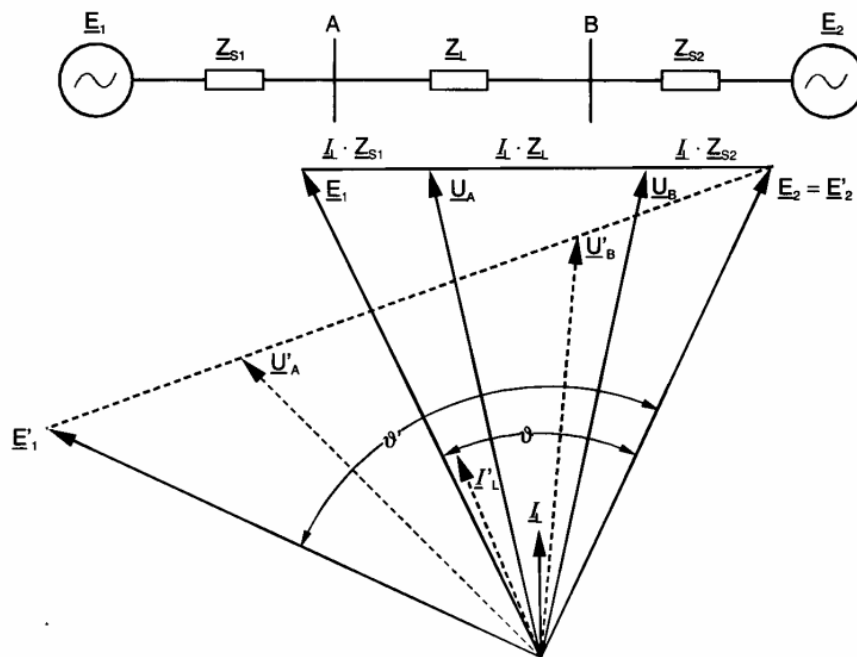
Häiriöillä sähköverkossa tarkoitetaan lyhytaikaisia vikojen aiheuttamia häiriöitä. Generaattorin suojauksen yhteydessä käsiteltiin sähköverkon vikoja, joiden perusteella suojaus on suunniteltava. Häiriöitä sähköverkossa aiheuttavat maasulut, kaksi- ja kolmivaiheiset oikosulut, jotka aiheuttavat suuria virtoja, ylijännitteitä ja jännitekuoppia. Muita häiriöitä voivat olla ilmastolliset ylijännitteet eli ukkosen aiheuttamat transienttiylijännitteet sähköverkossa. Generaattorijärjestelmässä häiriöitä voivat aiheuttaa ulkopuolisten vikojen lisäksi roottori- ja staattorikäämityksessä esiintyvät maa-, käämi- ja kierrossulut, viat jännitteensäädössä, turbiinisäädössä tai jäähdytyksessä.

4.2 Tehonheilahtelut sähköverkossa

Sähköverkossa esiintyvät häiriöt, kuten kuorman muutokset, verkon viat, automaattiset jälleenkytkennät, generaattorin irtoaminen ja verkon kytkentätoimet voivat aiheuttaa tehonheilahtelua. Tehonheilahtelu on symmetrinen kolmivaiheinen ilmiö. Se voidaan havaita mittaamalla silmukkaimpedansseja, joiden on oltava symmetriset. Tehonheilahtelussa impedanssivektorien muutosnopeus on hidas. Se on tavallisesti alle yhden hertsin luokkaa, kun taas oikosulun aiheuttama impedanssin muutosnopeus on paljon suurempi. Impedanssit lasketaan jännitteiden ja virtojen myötäkomponenttien perusteella. [Klimek & Baldwin 2004: 6; Siemens 2005: 163.] Tehonheilahtelut vaikuttavat verkon stabiiliuteen.

Verkon staattinen stabiilius eli vakavuus tarkoittaa verkon pysymistä stabiilina hitaiden tehomuutosten yhteydessä. Tätä kuvataan kuvassa 3, jossa generaattoria kuvaa lähdejännite E_1 , ja verkon puolta eli kuormitusta lähdejännite E_2 . Z_{S1} ja Z_{S2} kuvaavat jännitelähteiden oikosulkuimpedansseja, ja Z_L kuvaa siirtojohtoa ja sen impedanssia. Jännitevektoreiden E_1 ja E_2 välillä on kulma ν , joka on sitä suurempi, mitä suuremmalla

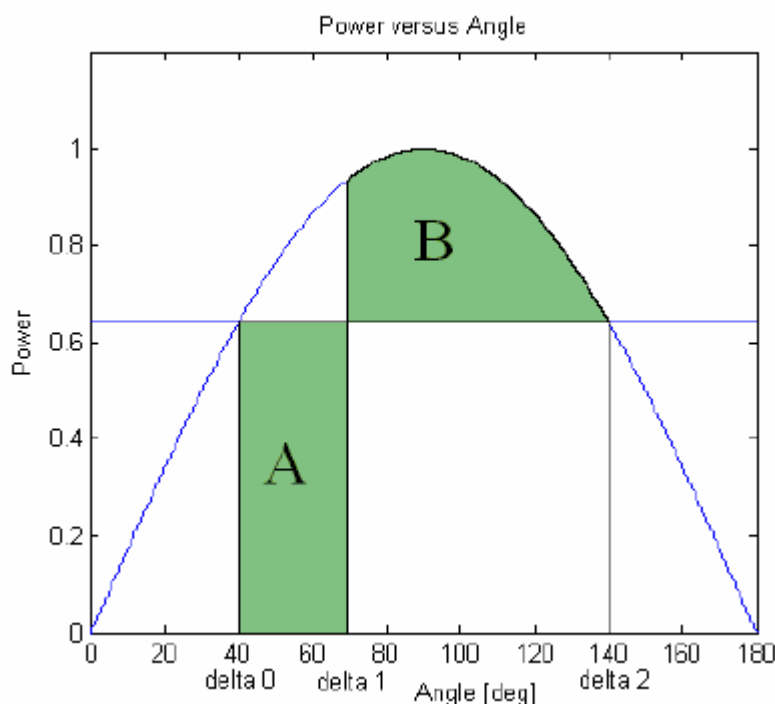
teholla johtoa kuormitetaan. Tällöin loisteho on myös suurempi. Tämä kulma vastaa tahtigeneraattorin napakulmaa, eli mekaanisen ja sähköisen tehon välistä kulmaa. Jotta tehoa saadaan siirrettyä tehontuotannosta kuormalle, näiden välillä on oltava siirtojännite, ja siirtojännite saadaan aikaiseksi loistehon avulla. Järjestelmä pysyy stabiilina niin kauan, kun pysytään stabiilisuusrajan sisäpuolella, eli jännitevektoreiden välinen kulma on enintään 90° . Teoriassa suurin kuormitettavuus saavutetaan 90° jännitevektoreiden vaihe-erolla, mutta silloin loisteho on hyvin suuri.



Kuva 3. Verkon staattinen stabiilius. E_1 = generaattorin lähdejännite, E_2 = kuorman lähdejännite, Z_{S1} , Z_{S2} ja Z_L = jännitelähteiden ja siirtojohtoon oikosulkuimpedanssit. E_1 :n ja E_2 :n välinen kulma on sitä suurempi, mitä suurempi kuormitus on. [Klimek & Baldwin 2004]

Äkillisissä ja rajuissa tehonheilahteluissa, kuten kuormituksen muutoksissa ja häiriötilanteissa, generaattorin tahdissa pysymistä kutsutaan dynaamiseksi stabiiliudeksi. [Klimek & Baldwin 2004.] Äkillisissä tehomuutoksissa stabiiliuden voi määrittää pinta-alamenetelmällä, jota kuvataan kuvassa 4. Power-akseli on voimakoneen mekaaninen teho, ja normaalissa toimintapisteessä delta 0 sähköinen ja mekaaninen teho ovat yhtä suuret. Vian sattuessa sähköinen teho putoaa, ja sähköisen ja mekaanisen tehon kulma alkaa kasvaa. Pisteessä delta 1 vika poistuu, mutta vian aikana tuotetun liike-energian on purkaututtava verkkoon, joten kulma jatkaa edelleen kiihdyttämistä. Pisteessä delta 2 alueiden A ja B pinta-alat ovat yhtä suuret, ja ylimääräinen energia on purkautunut verkkoon. Sen jälkeen kulma pienenee, ja sähköinen teho voi jäädä väheksi aikaa heilahtelemaan mekaanisen tehon lähelle. Mikäli verkon tila on vian jälkeen

sama kuin ennen, toimintapiste asettuu alkuperäiseen kohtaan, kulmaan $\delta = 0$. Jos verkon impedanssi on muuttunut, kulma muuttuu, ja toiminta jatkuu uudessa pisteessä. Generaattori pysyy tahdissa silloin, kun vian aikana varastoitunut energia pääsee purkautumaan verkkoon, eli alue B on vähintään alueen A suuruinen. Toisin sanoen mitä nopeammin vika poistuu, sitä varmemmin generaattori pysyy tahdissa. [Abdelaziz ym. 2013: 7.]



Kuva 4. Verkon dynaaminen stabiilius, pinta-alaan perustuva määrittäminen. Alue A välillä $\delta = 0$ ja $\delta = 1$ on vian aikainen tilanne, ja alue B vian jälkeinen tilanne, jossa tuotettu ylimääräinen liike-energia purkautuu sähköverkkoon. Stabiiliisuuden ehtona on, että alue B on vähintään alueen A suuruinen. [Abdelaziz ym. 2013.]

4.3 Häiriötallennus

Häiriöt ovat selvästi tehonheilahtelua lyhyempiaikaisia tapahtumia, jolloin tallennusaikojen ei tarvitse olla niin pitkiä. VJV 2013:n mukaan näytteenottotaajuuden ja tallennustaajuuden on oltava 1 kHz tai suurempi, ja tallennusajan tulee olla muutamia sekunteja. Häiriötallenteet sisältävät pääosin samat tiedot kuin heilahtelutallenteet.

4.4 Heilahtelutallennus

Koska tehonheilahtelu on hitaampaa ja pitempiketoisempaa kuin lyhytaikaiset viat, heilahtelujen tallentaminen on toteutettava pidemmällä tallennusajalla kuin häiriötallenteet. Vaatimukset heilahtelutallennukselle eroavat häiriötallenteiden vaatimuksista tallennusajan, näytteenottotaajuuden ja tallennustaajuuden osalta. VJV 2013:ssa vaatimus näytteenottotaajuudeksi on vähintään 1 kHz, ja tallennustaajuudeksi vähintään 50 Hz. [Fingrid 2013: 24] VJV 2013:n mukaan tallennusjakson pituuden on oltava kymmeniä sekunteja [Fingrid 2013: 24], mutta Klimekin ja Baldwinin [2004: 7-8] mukaan ko-keissa on osoitettu, että tarkoituksenmukaisen tiedon saamiseksi tapahtumasta, tarvitaan jopa 2 - 3 minuutin tallennusjaksoja.

Heilahtelutallenteet sisältävät usein jännitteiden ja virtojen suuruudet ja kulmat, järjestelmän taajuuden ja sekä pätö- että loistehon. Tehonheilahtelua tallennettaessa on tärkeää, että jokainen tallenne on tarkasti aikaleimattu, jotta tallenteet samasta verkosta eri tallentimilta olisivat vertailukelpoisia keskenään, ja niitä voitaisiin kokonaisuutena hyödyntää. [Klimek & Baldwin 2004: 8.]

4.5 Häiriö- ja heilahtelutallentimet

VJV 2013 vaatii 1 kHz tai suurempaa näytteenotto- ja tallennustaajuutta häiriötallentimille. Eri valmistajien suojareleissä on tallennusominaisuus häiriö- ja heilahtelutallennusta varten. Näytteenotto- ja tallennustaajuuksissa sekä tallenteiden maksimipituuksissa on eroja, mutta suuri osa nykyaikaisista tallentimista ovat ominaisuuksiltaan riittäviä. Jokaisella valmistajalla on myös omat tietokoneohjelmansa häiriötallenteiden avaamiseen ja käsittelyyn, mutta ne on usein mahdollista tallentaa muodossa, jossa ne voidaan avata laajemmalla ohjelmaskaalalla, jolloin ne ovat helpommin ja laajemmin hyödynnettävissä myöhemmin.

Eri valmistajilla on myös erillisiä häiriö- ja heilahtelutallentimia, joiden ensisijaisena tarkoituksena on toimia tallentimena. Tällöin ne on voitu optimoida täysin tallennusta varten, jolloin ominaisuudet ovat usein monipuolisemmat kuin muihin laitteisiin integroiduilla tallentimilla. Osa valmistajista on tosin luopunut erillisten tallentimien valmistuksesta kokonaan, ja tekevät vain muihin laitteisiin integroituja tallentimia.

5 Tiedonsiirtotekniikat generaattorisuojauksessa

Erilaisia tiedonsiirtotekniikoita käytetään eri tarkoituksiin generaattorisuojauksessa. Tässä luvussa käsitellään numeerisen releen sisään - ja ulostuloja, digitaalisia tiedonsiirtotekniikoita sekä tiedonsiirtomenetelmien käytettävyyttä.

5.1 Numeerisen suojareleen sisään - ja ulostulot

Digitaalisessa releessä on analogisia ja binäärisiä sisään- ja ulostuloja sekä digitaalisia liitäntöjä tietoliikennettä varten. Sisääntulosta käytetään yleisesti nimitystä input ja ulostulosta output. Havainnollistava kuva releen liitännöistä on liitteessä 1. Suluissa on signaalia vastaavat liittimet kuvassa.

5.1.1 Analogiset signaalit

Mittamuuntajilta tulevat virta- ja jännitesignaalit tuodaan analogisiin inputeihin (Q1 - J8). Mitta-arvomuuntimet muuttavat esimerkiksi virtasignaalin jännitteeksi, jota rele voi käsitellä. Tällainen signaali voi olla esimerkiksi maasulkusuojan syöttölaitteen signaali. (K13 – K18). Releeltä voi saada myös analogisia ulostulosignaaleja.

5.1.2 Binääriset signaalit

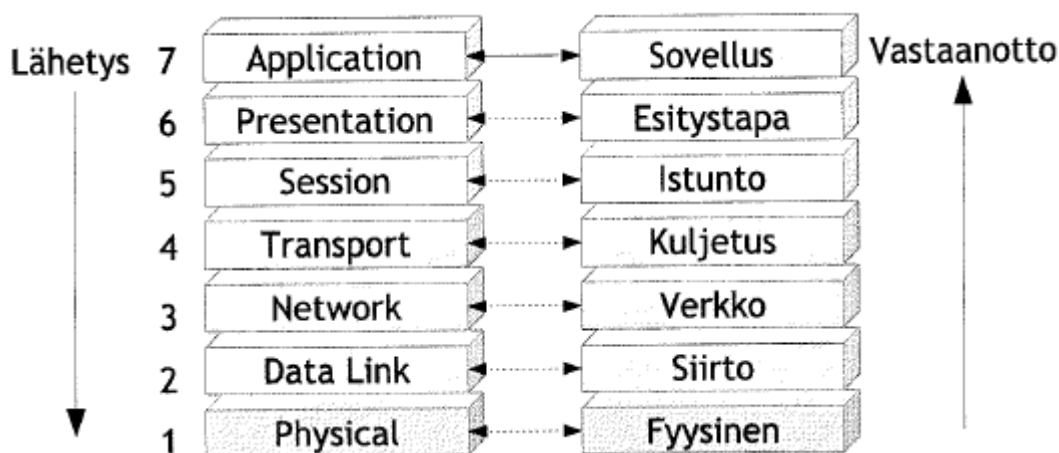
Binäärisiä inputeja voidaan käyttää esimerkiksi toimilaitteiden tilatietojen tai toisen releen laukaisutietojen tuomiseen. (F5 - K12). Binäärisiä outputeja käytetään releen laukaisukäskyjen ja hälytysten viemiseen. (R1 - K8). Releillä on myös itsevalvontatoiminto, joka ilmoittaa binäärisellä signaalilla, mikäli releessä on vika. (F3 - F4).

5.1.3 Digitaaliset signaalit

Sarjaväylät, kenttäväylät ja Ethernet ovat digitaalisia tiedonsiirtomenetelmiä. Sarjaväyliä käytetään tallenteiden siirtoon, releen hallintaan (Front port, Port C) ja lämpötilamittausyksikön tiedonsiirtoon (Port D). Kenttäväylillä ja Ethernetillä (Port B) voidaan liittyä järjestelmäväylään. Releen ajan synkronoimiseksi järjestelmän muiden laitteiden kanssa käytetään synkronointiliitintä (Port A).

5.2 OSI-malli

ISO (International Standardization Organization) on määritellyt tietoliikenteen referenssimalliksi OSI-mallin (Open System Interconnection), johon kaikkia tiedonsiirtoprotokollia verrataan. OSI-malli kuvataan kuvassa 5. OSI-mallissa on seitsemän eri tasoa: fyysinen taso (Physical Layer), tiedonsiirtotaso (Data link Layer), verkkotaso (Network Layer), kuljetustaso (Transport Layer), istuntotaso (Session Layer), esitystapataso (Presentation Layer) sekä sovellustaso (Application Layer). Kenttäväylätekniikassa on käytössä tasot 1, 2 ja 7. [Sundquist 2008: 64.]



Kuva 5. OSI-määrittely. Ethernet käyttää tasoja 1-2, ja Profibus tasoja 1,2 ja 7. Mm. RS-232 ja RS-485 muodostavat fyysisen tason 1. TCP/IP-tiedonsiirto käyttää tasoja 3-4 [Sundquist 2008: 64]

5.3 Sarjaväylä RS-232

RS-232-sarjaportti on ollut pitkään käytössä tietotekniikan laitteissa, joskin nimenomaan tietotekniikassa se on yhä enemmän korvattu USB-portilla. Muissa sovelluksissa tämä sarjaportti on edelleen yleisessä käytössä. Se mahdollistaa sarjamuotoisen tiedonsiirron kahden laitteen välillä. RS-232 toimii signaalijännitteillä esimerkiksi + 12 V ja - 12 V, joista positiivinen jännite vastaa 0 -bittiä ja negatiivinen jännite 1-bittiä.

Alun perin RS-232 suunniteltiin 25 -napaiselle DB25-liittimelle, josta käytössä oli vain 9 nastaa. 9-napainen DB-9 on sittemmin ollut yleisemmässä käytössä. Yksinkertaisimmillaan RS-232 toimii kolmella johtimella, mutta modeemikäytössä tarvitaan kaikkia yhdeksää napaa [Lammert Bies.] RS-232-sarjaporttia käytetään myös digitaalisissa suo-

jareleissä tiedonsiirtoon releen ja tietokoneen välillä. Sitä kautta voidaan hallinnoida releen asetteluja ja vikatallenteita ym.

5.4 Sarjaväylä RS-485

RS-485 on kehittyneempi versio RS-232:sta. Tämä tiedonsiirtomenetelmä perustuu balansoituun ja differentiaaliseen tiedonsiirtoon. Signaali lähetetään samanaikaisesti kahteen johtimeen, joista toisessa on käännetty signaali, eli johtimissa kulkee täysin vastakkaismuotoiset jännitteet. Kaapelissa signaaliin sekoittuu aina jonkin verran häiriötä, joka on samanmuotoinen kummassakin johtimessa. Vastaanottopäässä signaali-jännitteet vähennetään toisistaan, eli käytännössä alkuperäinen signaali kaksinkertaistuu, ja häiriöt kumoutuvat pois [TUT].

Kaapelina käytetään parikierrettyä kaapelia, jolloin häiriökestoisuus on huomattavasti parempi, ja kommunikointietäisyyttä voidaan kasvattaa. Käytettäessä kahta johdinta, tiedonsiirtotapa on ns. vuorosuuntainen (half duplex), eli vain yksi väylään liitetty yksikkö voi lähettää kerrallaan. RS-485-väylään voi liittää 32 liittyjää. Liitin on RS-232:n tapaan 9-nastainen DB9 -liitin.

RS-485 muodostaa OSI-määrittelyn mukaisen fyysisen tason (kuva 7), ja sen pohjalta toimivat väyläprotokollat käyttävät ylempiä tasoja. [Lammert Bies; Novus.] RS-485-väylää käytetään myös generaattoreiden suojausjärjestelmissä muodostamaan suoja-releiden huoltoväylän, jolla voidaan hallinnoida useita releitä samanaikaisesti.

5.5 Kenttäväylät

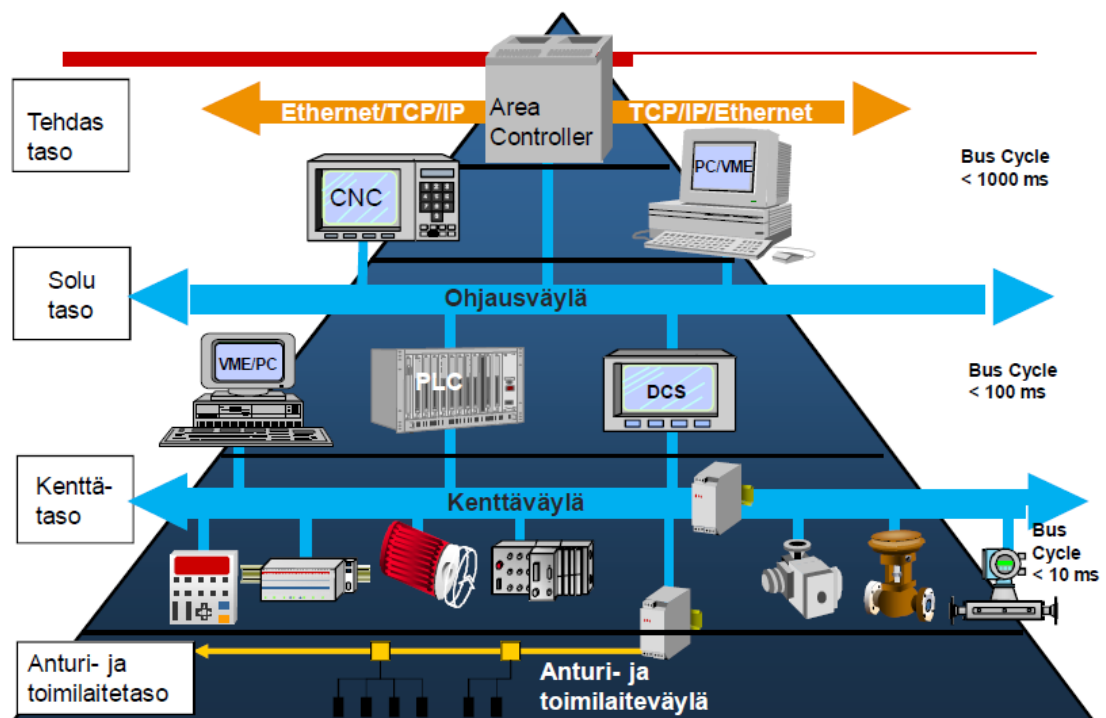
Kenttäväylä on digitaaliseen tiedonsiirtoon perustuva tiedonsiirtotekniikka, jonka tarkoituksena on toimia sarjamuotoisen, kaksisuuntaisen ja digitaalisen datan välittäjänä ohjaus- ja kentälaitteiden välillä.

5.5.1 Kenttäväylät yleisesti

Kuvassa 6 esitetään, mihin kenttäväylä sijoittuu automaatiojärjestelmän väyläarkkitehtuurissa teollisuussovelluksessa. Kenttäväylätekniikka mahdollistaa ohjauskomponent-

tien, esimerkiksi ohjelmoitavien logiikoiden sijoittamisen lähemmäksi kenttälaitteita, mikä vähentää näin tarvittavien johdotusten määrää merkittävästi, ja helpottaa järjestelmien suunnittelua ja toteutusta sekä parantaa järjestelmän hallittavuutta ja tehoa.

Laitteiden kytkentä kenttäväylään eli kytkentätopologia voidaan toteuttaa pääasiassa kolmella eri tavalla. Väylätyyppisessä kytkennässä laitteet kytketään kytkentärasioiden kautta runkokaapeliin. Tässä on heikkoutena järjestelmän haavoittuvuus kaapelivian vuoksi. Jokainen laite on vain yhden kaapeliyhteyden varassa, mutta toteutus on yksinkertaista. Laitteet voidaan kytkeä myös rengaskytkentään, jolloin jokaisella laitteella on väyläyhteys kahden kaapelin kautta. Yhden kaapelin vioittuminen ei silloin vaikuta mitenkään järjestelmän toimintaan. Tähti- eli puukytkennässä laitteet liitetään runkokaapeliin yhdellä kytkentärasialla, jolloin kytkentäpisteitä ei ole kuin yksi, mutta jokaiseen oksaan tarvitaan oma kaapelinsa. Kenttäväylätopologia voidaan toteuttaa myös erilaisina yhdistelminä. [Karppinen 2014.]



Kuva 6. Esimerkki väyläarkkitehtuurista [Profibus 2014]

5.5.2 Esimerkkinä Profibus

Profibus (Process Field Bus) on automaatiojärjestelmissä yleisesti käytetty kenttäväylä. Tämä protokollarakenne perustuu OSI-malliin (Open System Interconnection), joka koostuu seitsemästä tasosta. Jokaisella tasolla on tarkoin määritelty tehtävänsä. Profibus käyttää tasoja 1, 2 ja 7. [Profibus 2014.]

Profibus DP -protokolla (*Decentralized Periphery, hajautettu I/O*) on tämän päivän nopein kenttäväylä maksiminopeudellaan 12 MB. Profibus DP:tä käytetään kommunikointiyhteytenä automaation ja hajautetun laitetason välillä. Fyysisenä tiedonsiirtoväylänä voidaan käyttää parikierrettyä kuparikaapelia tai valokuitua. [Siemens 2009: s. 17] Profibus DP -protokollasta on kolme versiota: DPV0, DPV1 ja DPV2. DPV0 perustuu isäntä-orja-periaatteeseen (*master-to-slave*). DPV1 mahdollistaa DPV0:n lisäksi asyklisen kommunikation, jossa isäntänä voi toimia PLC:n lisäksi esimerkiksi PC. DPV2 on näistä uusin versio, ja se mahdollistaa myös orja-orja-tiedonsiirron (*slave-to-slave*). Numeeriset releet voidaan liittää Profibus DP -väylään. Sillä saadaan siirrettyä releen mitta- ja tilatiedot. [Profibus 2014.]

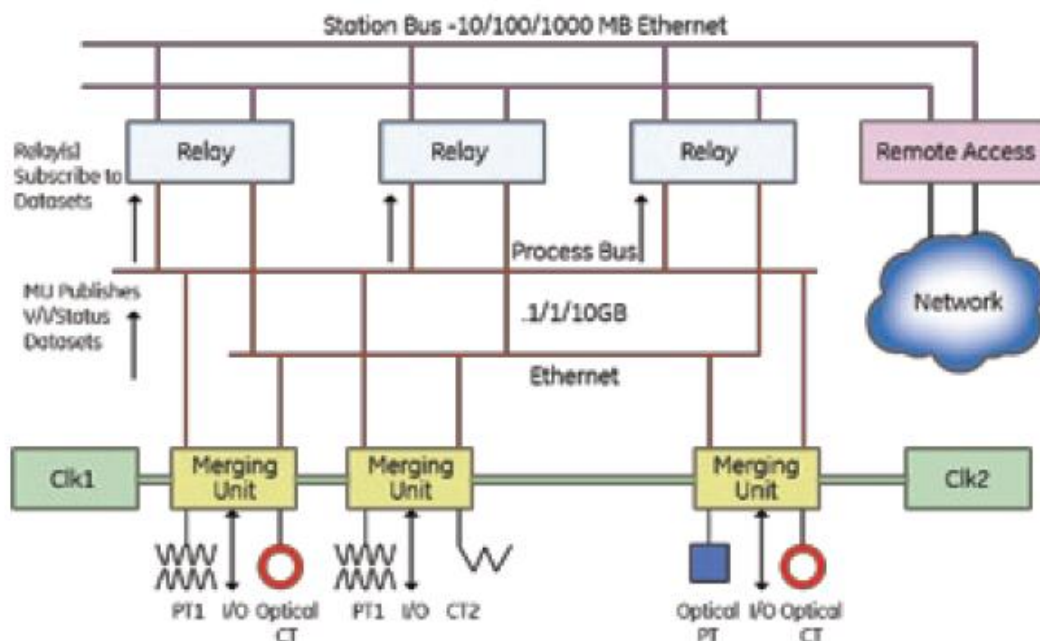
Profibus FMS on Profibusin ensimmäinen versio, joka suunniteltiin kommunikointivälineeksi PC:n ja PLC:n välille. Se on isäntä-isäntä-tyyppinen väyläprotokolla, joka on nytemmin pääosin korvattu Ethernetillä. Se on kuitenkin yhtenä tiedonsiirtomahdollisuutena joissakin suojareleissä [Siemens 2008].

5.6 IEC-61850 ja Ethernet

IEC 61850 on IEC:n (International Electrotechnical Commission) laatima standardi sähköasemien tiedonsiirrosta. Alun perin standardi koski vain sähköasemia, mutta sitä on laajennettu koskemaan myös vesi- ja tuulivoimaa sekä hajautettua sähköntuotantoa. Moni generaattorisuojauksessa käytettävä suojarele täyttää standardin vaatimukset [Siemens 2008; ABB 2010]. IEC 61850:n mukainen järjestelmä käyttää TCP/IP- ja Ethernet-tekniikkaa, jolloin vasteajat ovat hyvin lyhyitä. Järjestelmään voi liittää minkä tahansa standardin mukaisen laitteen valmistajasta riippumatta.

Kuvassa 7 on esimerkki IEC 61850:n mukaisesta sähköaseman tietoliikenneverkosta. Kuvassa olevassa sähköaseman tiedonsiirtoverkossa mittaustiedot menevät Ethernetin

kautta releelle. Tästä poiketen generaattorisuojauksessa käytetään yleisesti kovaa johdotusta mittaus- ja laukaisupiireissä. [ABB 2010: 48; Adamiak ym: 62.]



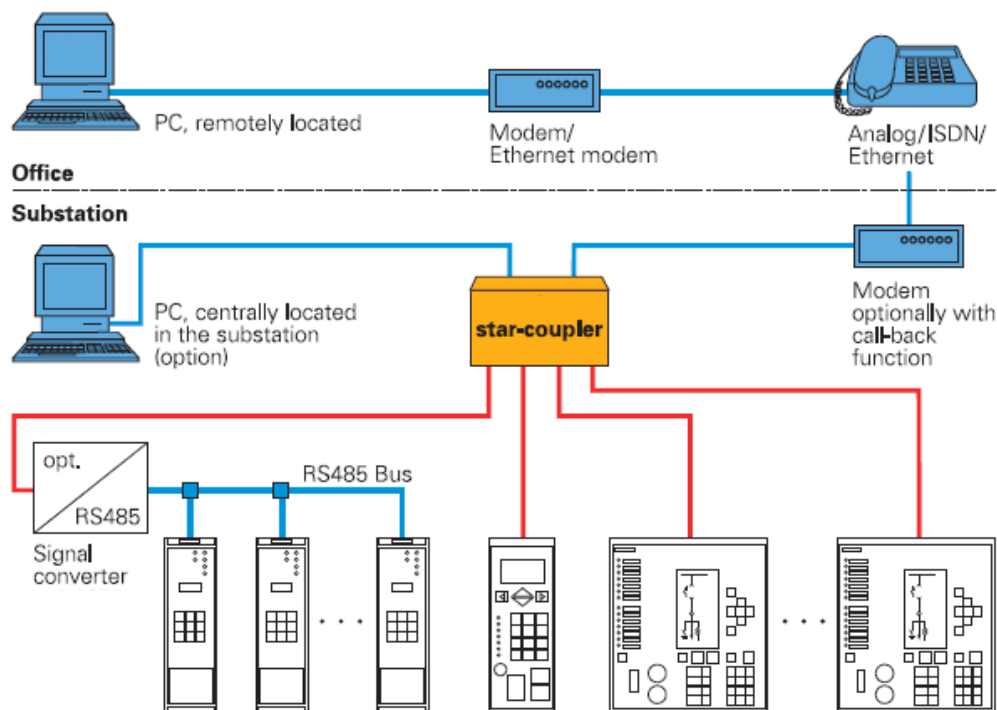
Kuva 7. Standardin IEC 61850 mukainen tiedonsiirtoverkko sähköasemalla [Adamiak ym.].

Ethernet on alun perin lähiverkkoyhteydeksi kehitetty tiedonsiirtotekniikka, joka on käytössä myös teollisuuden automaatioympäristössä ja suojareleiden tiedonsiirtoväylänä. Myös internet perustuu Ethernet -tekniikkaan. Ethernet toimii OSI -määrittelyn mukaisilla tasoilla 1 ja 2. Se on ns. isäntä-isäntä -tyyppinen väylä. Ethernet-verkon voi rakentaa rengas-, tähti-, puu-, väylä- tai verkkomuotoon. [Sundquist 2008: 64.] Generaattorisuojauksessa voidaan releet liittää Ethernet -väylään, jolloin sekä tila- ja mittaustiedot että vikatalenteet on mahdollista saada saman tiedonsiirtoyhteyden kautta [Siemens 2005: 29].

5.7 Suojareleiden huoltoväylä

Numeerisia releitä voidaan hallinnoida huoltoväylän kautta joko etänä tai paikan päällä. Monissa numeerisissa suojareleissä on huoltosarjaportti, jolla laite voidaan yhdistää huoltoväylään. Huoltoväylässä laitteet yhdistetään sarjaväylän tai valokuidun kautta haaroittimelle, jonka kautta väylään voi liittyä tietokoneella. Yleisimmin käytössä ovat RS-232- ja RS-485-tyyppiset sarjaväylät. Haaroittimelta voi olla myös valokuitu- tai

modeemiyhteys eteenpäin, jolla huoltoväylää pääsee hallinnoimaan etänä, esimerkiksi laitoksen valvomosta tai omasta toimistosta. Kuvassa 8 on esimerkki suoja-releiden huoltoväylästä. [Siemens 2008: 4/4.]



Kuva 8. Esimerkki suoja-releiden huoltoväylästä [Siemens 2008]

5.8 Eri tiedonsiirtomenetelmien käytettävyys generaattorijärjestelmässä

5.8.1 Binäärinen ulostulo kovalla johdotuksella

Numeerisissa releissä käytetään binäärisiä ulostuloja hälytys- ja laukaisusignaalien lähettämiseen. Ilman väylätekniikkaa tämä on ainoa tiedonsiirtokeino releeltä. Binäärisiä ulostuloja on mahdollista ohjelmoida releen sisäisesti. Binäärinen signaali voi saada joko arvon 1 tai 0, eli esimerkiksi hälytys-signaali päällä tai pois. Lyhyesti sanottuna binäärisistä ulostuloista saadaan tilatiedot ja toimilaitteiden laukaisukäskyt. Generaattorisuojauksessa laukaisukäskyt tehdään toimintavarmuuden turvaamiseksi ns. kovalla johdotuksella, eli suoralla johdotuksella ilman logiikoita ja väyliä.

5.8.2 Sarjaväylä

Suurimmassa osassa numeerisia releitä on sarjaportti, jonka kautta PC:n voi kytkeä releeseen voidakseen päästä käsiksi releen asetteluihin, reaaliaikaisiin mittaustietoihin ja vika- ja häiriötallenteisiin. Tämä menetelmä soveltuu lähinnä satunnaisiin vikatallenteiden hakuihin, asettelujen tarkasteluun ja muutoksiin tai koestusten yhteydessä käytettäväksi.

5.8.3 Kenttäväylä

Niillä voimalaitoksilla, missä kenttäväylätekniikka on relesuojauksessa käytössä, reaaliaikaisesti ja säännöllisin välein mitattava mittaustieto voidaan viedä valvomoon kenttäväylän kautta. VJV 2013 vaatii reaaliaikaisen tehomittauksen kaikilta voimalaitoksilta. Numeerisilla releillä toteutettu generaattorisuojaus voi toimia samalla mittaavana laitteistona, jolta tehomittaustieto saadaan väylää myöten. Myös releen tilatiedot saadaan väylää myöten. [Siemens 2008: 4/8] Kenttäväylätekniikka vähentää kaapeloinnin tarvetta huomattavasti verrattuna kovaan johdotukseen.

5.8.4 Huoltoväylä

Generaattoreiden toisiojärjestelmissä tiedonsiirtoon voidaan käyttää myös huoltoväylää. Huoltoväylässä suojalaitteet on sarjaväylällä yhdistetty haaroittimelle, jonka kautta PC:llä pääsee yhden sarjaportin kautta kaikkiin huoltoväylään liitettyihin laitteisiin käsiksi. Mikäli huoltoväylän tiedonsiirto haaroittimelta eteenpäin toteutetaan etäyhteyden mahdollistavalla modeemilla, voidaan huoltoväylään mennä esimerkiksi omasta toimistosta, tarvitsematta mennä laitokselle lainkaan. [Siemens 2008: 4/4]

5.8.5 Ethernet

Ethernet-väylää käyttämällä saadaan monipuolisimmat toiminnot tiedonsiirrolta. Sitä kautta on mahdollista monitoroida tila- ja mittaustietoja, tarkastella ja muuttaa asetuksia, ja hakea vikatallenteet. Ethernet-liityntä on mahdollista saada useimpiin suojareleisiin. Ethernet-väylän etuina ovat sen yleisyys ja riippumattomuus laitevalmistajasta.

6 Generaattorisuojauksen vikatallennuksen ja tiedonsiirtomenetelmien simulointi

Tarkoituksena on simuloida vikojen tallentamista ja tallenteiden hakemista sekä tiedonsiirtomenetelmien käytettävyyttä.

Simuloitavaksi järjestelmäksi valittiin yksittäinen generaattori nimellisarvoiltaan $S_n = 100$ MVA, $U_n = 10,5$ kV ja $x_Q = 8\%$, $I_n = 5500$ A. Virtamuuntajien muuntosuhteet ovat $5000 / 5$ A, ja jännitemuuntajien $10500 / 105$ V. Ylivirtafunktion havahtumisarvot ovat ensimmäisellä portaalla 6600 A (3 s viive) ja toisella portaalla 9900 A (ei viivettä). Releelle syötettiin toisiosuureet nimellisvirran ollessa 5 A ja nimellisjännitteen 105 V. Ku-
vissa olevat arvot ovat muuntosuhteiden mukaisia ensiöarvoja.

6.1 Käytetyt laitteet ja simulaattorijärjestely

- Siemens Siprotec 4: 7UM621 suojarele
- Siemens S7-300 ohjelmoitava logiikka Profibus DP -liitännällä
- Tietokone koestuslaitteen, releen ja ohjelmoitavan logiikan hallinnointiin
- Omicron CMC-256 koestuslaite

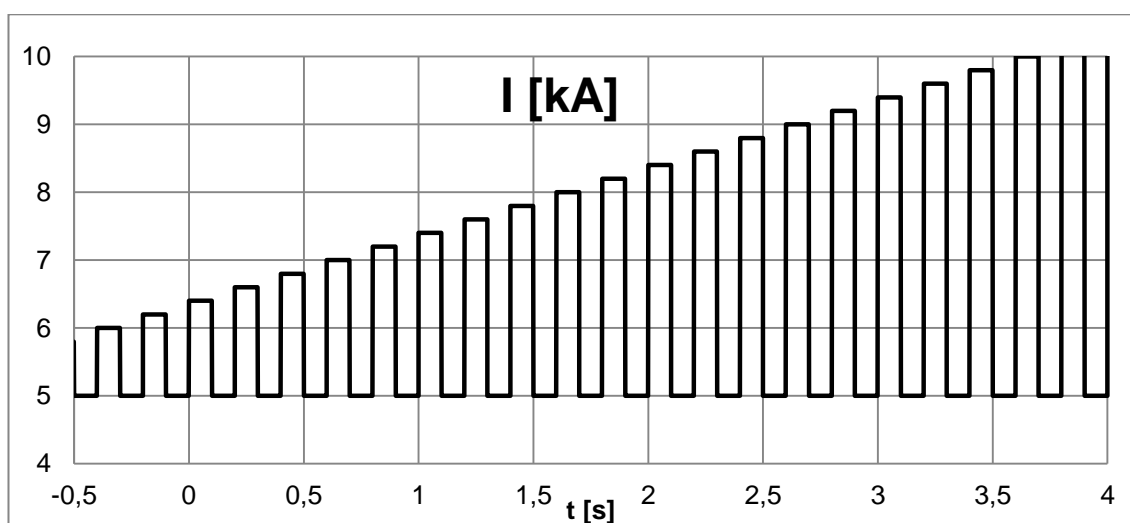
Simuloinnissa käytetyssä releessä on useita tietoliikenneportteja. Tässä käytettiin Profibus DP -liitäntää väylään liittymiseksi ja RS-232-liitäntää mm. vikatallenteiden hakuun. Lisäksi releessä on RS-485-portti esim. huoltoväylää varten. Ohjelmoitava logiikka toimi Profibus-väylän isäntänä, ja sitä hallinnoitiin tietokoneella.

Koestuslaitteella voidaan releelle syöttää erilaisia virtoja ja jännitteitä kahdella kolmivaiheisella virtageneraattorilla sekä yhdellä kolmivaiheisella ja yhdellä yksivaiheisella jännitegeneraattorilla. Koestuslaitteessa on myös binäärisiä sisääntuloja joilla voidaan simuloida esimerkiksi hälytyksiä ja laukaisuja. Koestuslaitteen ohjaus tapahtuu tietokoneella.

Simuloinnissa käytetyt ohjelmat olivat Siemensin Digsy releen hallinnointiin, Sigran talenteiden käsittelyyn ja Step 7 logiikkaohjelmointiin ja väylätoimintoihin. Koestuslaitetta ohjattiin Omicron Test Universe -ohjelmistolla.

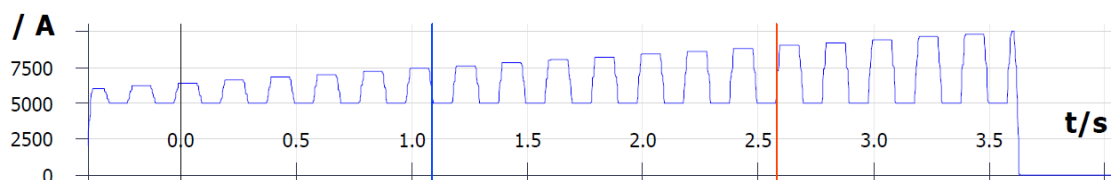
6.2 Häiriötallennus

Koestuslaitteella syötettiin ylivirtapulseja kuvan 9 mukaisesti. Häiriötallennus asetettiin käynnistymään releen havahtumisesta. Tallennin aseteltiin käyttämään hetkellisarvoja, jolloin saadaan tarkempi kuva tapahtumasta, mutta tällöin tallennusaika on lyhyempi. Näytteenottotaajuus on tässä tapauksessa 800 Hz, eli 800 näytettä sekunnissa.



Kuva 9. Releelle syötetyt ylivirtapulssit. Syötetyt suureet olivat toisioarvoja, tässä ne on muunnettu simuloitavan järjestelmän ensiöarvoiksi.

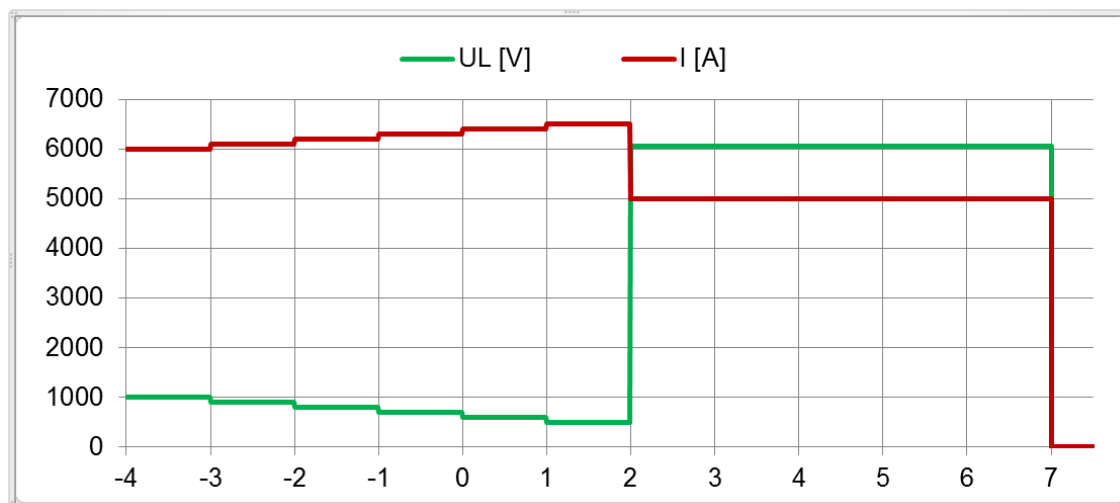
Syötetyn virran mukaan havahtunut rele teki tapahtumasta tallenteen, josta on otos kuvassa 10. Tallenne ylivirtatilanteesta on kokonaisuudessaan liitteessä 2.



Kuva 10. Releen tallentama virta. Hetkellä 0.0 s havahtui ylivirran ensimmäinen porras ensimmäisen kerran, ja tämän jälkeen jokaisen virtapiikin aikana. Aikaviiveen vuoksi se ei antanut laukaisua. Hetkellä 3,6 s, 10 kA antoi ylivirran momenttiporras laukaisun.

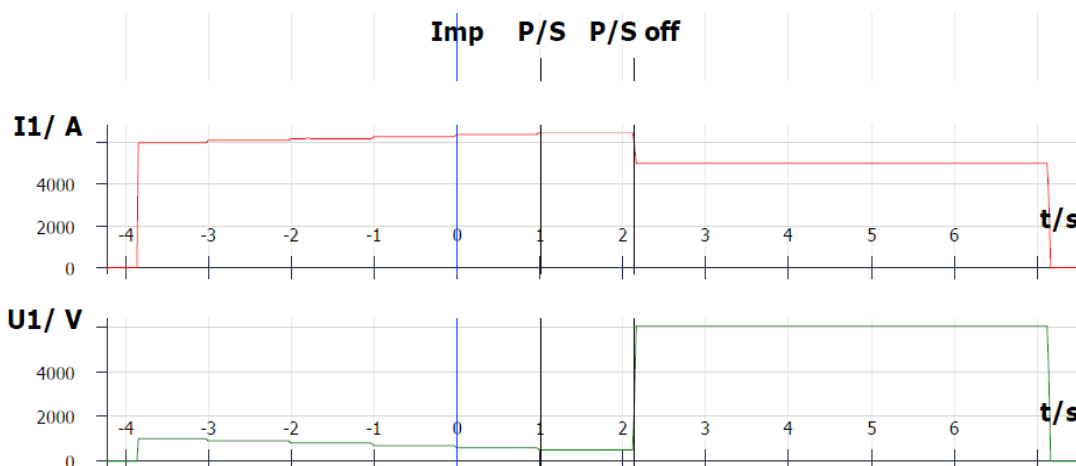
6.3 Heilahtelutallennus

Tehonheilahtelua simuloitaessa releelle syötettiin kuvan 11 mukaiset virrat ja jännitteet.



Kuva 11. Releelle syötetyt virta ja jännite tehonheilahduksen simuloimiseksi. Syötetyt suureet olivat toisioarvoja, tässä ne on muunnettu simuloitavan järjestelmän ensioarvoiksi.

Simuloinnissa käytetyssä releessä tehonheilahdus on osana ali-impedanssisuojaa. Mikäli rele havaitsee tehonheilahduksen kriteerien täyttyvän, se estää impedanssisuojan toiminnan kolmeksi sekunniksi. Kriteerit ovat kolmivaiheinen symmetrinen impedanssin muutos, riittävän alhainen impedanssin muutosnopeus ja impedanssimuutoksen on tapahduttava asetellulla alueella. Tehonheilahtelun ollessa hitaampi ilmiö kuin esimerkiksi ylivirta, tallennusajan on oltava pidempi. Tässä tallennin on aseteltu käyttämään tehollisarvoja, jolloin mittausherkeytyy on heikompi kuin hetkellisarvoilla, mutta tallennusaika on noin kymmenkertainen. Näytteenottotaajuutena tässä on 50 Hz. Ote releen tekemästä tallenteesta on kuvassa 12. Tallenne tehonheilahduksesta on kokonaisuudessaan liitteessä 3.



Kuva 12. Releen tekemä tallenne tehonheilahduksesta. Impedanssisuoja havahtui ensin (Imp), mutta tehonheilahduksen havaittuaan (P/S) rele esti impedanssisuojan laukaisun. Tilanne palautui normaaliksi (P/S off), eikä generaattoria tarvittu laukaista.

6.4 Reaaliaikaiset toiminnot

Releeltä saadaan reaaliaikaista dataa kuten tilatiedot ja releen tapahtumat. Profibus DP -väylän kautta on mahdollista tuoda ohjelmoitavalle logiikalle releen tilatiedot ja mikäli rele mahdollistaa, myös mittaustietoja. Tässä käytettiin Siemensin Step 7 -ohjelmistoa kenttäväylän ja ohjelmoitavan logiikan hallinnointiin, ja tietokoneen näytölle tuotiin releen tilatiedot. Kuvassa 13 on kuvakaappaus tilatiedoista ylivirtatilanteen ajalta.

		Address	Symbol	Status value
1		DB1.DBX 1.0	"db1".device_oper	true
2		DB1.DBX 1.5	"db1".Relay_gen_trip	false
3		DB1.DBX 2.0	"db1".ylivirta_hav	true
4		DB1.DBX 2.4	"db1".ylivirta1_lauk	false
5		DB1.DBX 3.2	"db1".ylivirta2_lauk	false
		Address	Symbol	Status value
1		DB1.DBX 1.0	"db1".device_oper	true
2		DB1.DBX 1.5	"db1".Relay_gen_trip	true
3		DB1.DBX 2.0	"db1".ylivirta_hav	true
4		DB1.DBX 2.4	"db1".ylivirta1_lauk	true
5		DB1.DBX 3.2	"db1".ylivirta2_lauk	true

Kuva 13. Releen tilatiedot PC:n näytöllä. Ylemmässä kuvassa on tilanne, jossa ylivirtafunktio on havahtunut, ja alemmassa nopea virran nousu on laukaissut molemmat ylivirtaportaavat.

Sarjaväylällä pystyy lukemaan reaaliaikaisesti releen tapahtumat, mutta dataa tulee tilanteesta riippuen paljon ja nopeasti, jolloin käytännöllisyys kärsii. Tämä soveltuu lähinnä vikatilanteen jälkeiseen tapahtumien tarkasteluun ja koestusten yhteydessä käytettäväksi. Esimerkkinä tästä on ote releen tapahtumatiedoista kuvassa 14.

Number	Indication	Value	Date and time	Initiator	Cause
00055	Reset Device	ON	28.10.2014 15:05:31.159		Spontaneous
05002	Suitable measured quantities present	ON	28.10.2014 15:12:29.028	Com.Issue...	Spontaneous
05093	Reverse power protection is ACTIVE	ON	28.10.2014 15:12:29.048	Com.Issue...	Spontaneous
05153	I2 is ACTIVE	ON	28.10.2014 15:12:29.048	Com.Issue...	Spontaneous
03963	Impedance protection is ACTIVE	ON	28.10.2014 15:12:29.048	Com.Issue...	Spontaneous
25074	Earth current prot. B is ACTIVE	ON	28.10.2014 15:12:29.048	Com.Issue...	Spontaneous
00284	Set Point I _k alarm	OFF	28.10.2014 15:12:29.243	Com.Issue...	Spontaneous
	Reset LED	OFF	28.10.2014 15:12:32.889	Com.Issue...	Spontaneous
00301	Power System fault	390 - ON	28.10.2014 15:12:32.889	Com.Issue...	Spontaneous
00302	Fault Event	393 - ON	28.10.2014 15:12:32.889	Com.Issue...	Spontaneous
00501	Relay PICKUP	ON	0 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03967	Imp.: Fault detection , phase L1	ON	0 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03968	Imp.: Fault detection , phase L2	ON	0 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03969	Imp.: Fault detection , phase L3	ON	0 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03966	Impedance protection picked up	ON	0 ms	Com.Issue...	Spontaneous
30053	Fault recording is running	ON	5 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03976	Power swing detection	ON	980 ms	Com.Issue...	Spontaneous
00004	Trigger Waveform Capture	ON	991 ms		Spontaneous
30053	Fault recording is running	OFF	1386 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03968	Imp.: Fault detection , phase L2	OFF	2079 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03969	Imp.: Fault detection , phase L3	OFF	2079 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03976	Power swing detection	OFF	2079 ms	Com.Issue...	Spontaneous
00004	Trigger Waveform Capture	OFF	2088 ms		Spontaneous
03967	Imp.: Fault detection , phase L1	OFF	2099 ms	Com.Issue...	Spontaneous
03966	Impedance protection picked up	OFF	2099 ms	Com.Issue...	Spontaneous
00501	Relay PICKUP	OFF	2099 ms	Com.Issue...	Spontaneous
00302	Fault Event	393 - OFF	28.10.2014 15:12:34.989	Com.Issue...	Spontaneous
00301	Power System fault	390 - OFF	28.10.2014 15:12:34.989	Com.Issue...	Spontaneous
05002	Suitable measured quantities present	OFF	28.10.2014 15:12:40.028	Com.Issue...	Spontaneous
00284	Set Point I _k alarm	ON	28.10.2014 15:12:40.041	Com.Issue...	Spontaneous
05093	Reverse power protection is ACTIVE	OFF	28.10.2014 15:12:40.048	Com.Issue...	Spontaneous
05153	I2 is ACTIVE	OFF	28.10.2014 15:12:40.048	Com.Issue...	Spontaneous
03963	Impedance protection is ACTIVE	OFF	28.10.2014 15:12:40.048	Com.Issue...	Spontaneous
25074	Earth current prot. B is ACTIVE	OFF	28.10.2014 15:12:40.048	Com.Issue...	Spontaneous

Kuva 14. Ote releeltä luettavista tapahtumatiedoista. Impedanssisuoja on havahtunut hetkellä 0 ms ja sen jälkeen tehonheilaudus on estänyt impedanssisuojan toiminnan havahtuessaan hetkellä 980 ms. Tapahtumissa näkyy myös mm. tallentimen käynnistyminen.

6.5 Yhteenveto simuloinnista

Tässä käytiin läpi nykyaikaisen suojareleen ja väylätekniikan mahdollistamat toiminnot vikojen tallennuksessa ja tiedonsiirrossa. Käytetyllä testijärjestelyllä simuloitiin generaattorilla tapahtuvia häiriöitä ja tehonheilahteluja, joista tuotettiin tapahtumien mukaisia tallenteita sekä seurattiin tapahtumia sekä väylän kautta että suoraan releeseen kytketyllä. Tässä käytettiin tiedonsiirtomenetelminä RS-232-sarjaväylää ja Profibus DP -kenttäväylää. Samat toiminnot on mahdollista saada myös muun tyyppisillä sarja- ja kenttäväyläratkaisulla. Tässä simulointien toimintojen lisäksi on mahdollista viedä releen mittaustiedot väylään.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin tiedonsiirtomenetelmiä ja vikojen tallennusta generaattorin suojausjärjestelmässä. Tässä työssä selvitettiin käyttökelpoisimmat tiedonsiirtomenetelmät vikatallenteiden siirtoon ja eri tiedonsiirtomenetelmien soveltuvuuksia eri tarpeisiin. Selvitys tehtiin tänä päivänä yleisesti käytössä olevista tiedonsiirtomenetelmistä alan kirjallisuuden ja laitevalmistajien dokumenttien pohjalta. Tiedonsiirtoa ja vikojen tallennusta simuloitiin testilaitteistolla.

Selvityksen lopputuloksena käytännöllisimmäksi tiedonsiirtomenetelmäksi generaattorisuojauksessa osoittautui Ethernet, koska sillä voidaan samanaikaisesti saada releen tilatiedot, mittaukset, asettelut sekä vikatallenteet. Muita menetelmiä käytettäessä samoihin ominaisuuksiin pääsemiseksi on käytettävä vähintään kahta erilaista tiedonsiirtomenetelmää samanaikaisesti. Kuitenkin, mikäli ei ole mahdollista toteuttaa Ethernet-väylää, kenttäväylän ja huoltoväylän käyttö on hyvä ratkaisu. Kenttäväylä mahdollistaa tila- ja mittaustietojen siirtäminen, ja huoltoväylä releen hallinnoinnin ja tallenteiden siirron.

Sähköasemien tiedonsiirtostandardi IEC 61850 käyttää tiedonsiirtotekniikkana Ethernetiä. Tätä standardia on laajennettu koskemaan myös hajautettua sähköntuotantoa. Näyttää siis siltä, että Ethernet tulee entistä keskeisemmäksi tiedonsiirtomenetelmäksi generaattorisuojauksessa.

Lähteet

ABB. 2010. ABB review: Special Report IEC 61850.

ABB. 2010. Generator protection REG670. Tuoteopas.

Abdelaziz, A.Y., Ibrahim, A. M., Hasan, Z. G., 2013. Transient stability analysis with equal-area criterion for out of step detection using phasor measurement units.

Adamiak, M., Baigent D. & Mackiewicz, R. IEC 61850 Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users.

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1996. Sähkökoneet ja Tehoelektroniikan perusteet. WSOY.

Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto.

Emerson Process Management. 2011. DGC Brushless Excitation System Description.

Entso-E: verkkojulkaisu. Luettu 20.10.2014. <<https://www.entsoe.eu/news-events/former-associations/nordel/Pages/default.aspx>>

Fingrid Oyj. 2000. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2000.

Fingrid Oyj. 2007. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2007.

Fingrid Oyj. 2013. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2013.

Fingrid Oyj. Kotisivut. Luettu 11.8.2014
<<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/Sivut/default.aspx>>

Karppinen, Jukka. 2014. Kenttäväylät. Sähkösäätötekniikan perusteet -kurssin luento. Metropolia.

Klimek, A., Baldwin R. 2004. Benefits of Power Swing Recording.

Lammert Bies. RS 485 serial information. Verkkojulkaisu. Luettu 17.9.2014.
<<http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-485.html>>

Lammert Bies. RS-232 Specifications and standard. Verkkojulkaisu. Luettu 17.9.2014.
<http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-232_specs.html>

Mörsky, Jorma. 1992. Rele suojaustekniikka. Otatieto.

Novus. RS-485 & 422 Basics. Verkkojulkaisu. Luettu 18.9.2014.
<<http://faq.novus.com.br:8080/phpmyfaq/attachments/10/RS-485%20%26%20RS422%20Basics.pdf>>

PROFIBUS. 2014. Verkkojulkaisu. Luettu 10.6.2014.
<<http://www.profibus.com/technology/profibus/overview/>>

Reimert, Donald. 2006. Protection Relaying for Power Generation Systems. Taylor & Francis Group.

Siemens. 2005. Siprotec Multifunctional Machine Protection 7UM62. V4.6. Manual.

Siemens. 2008. SIPROTEC, Numerical Protection Relays.

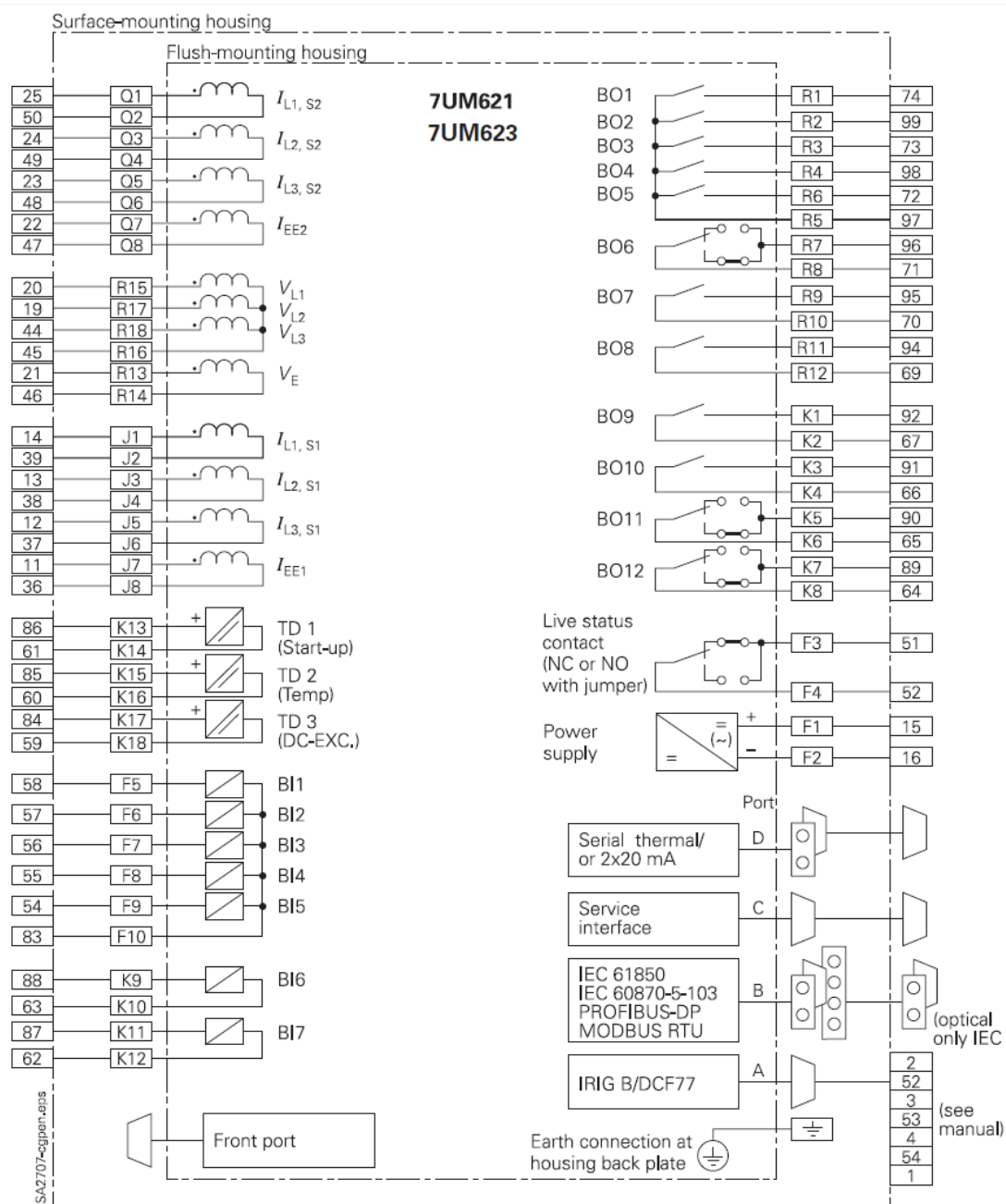
Siemens. 2009. SIMATIC NET PROFIBUS Network Manual, System Manual.

Sundquist, Matti (toim.). 2008. Teollisuusautomaation tiedonsiirtoliikenne: Turvaväylät. Inspecta.

TUT. Yhteyskäytäntö RS-422 ja RS-485. Verkkojulkaisu. Luettu 18.9.2014.
<<http://www.pori.tut.fi/~tiru/rs.htm>>

Tuulivoimalaitosten generaattori- ja tehoelektroniikkaratkaisut. Haettu 6.6.2014
<<http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/kurssit/Wind/Seminaarit/luku4.pdf>>

Numeerisen suoja releen sisääntulot ja ulostulot (Siemens 2008)



Häiriötallenne

7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 12:07:24.406

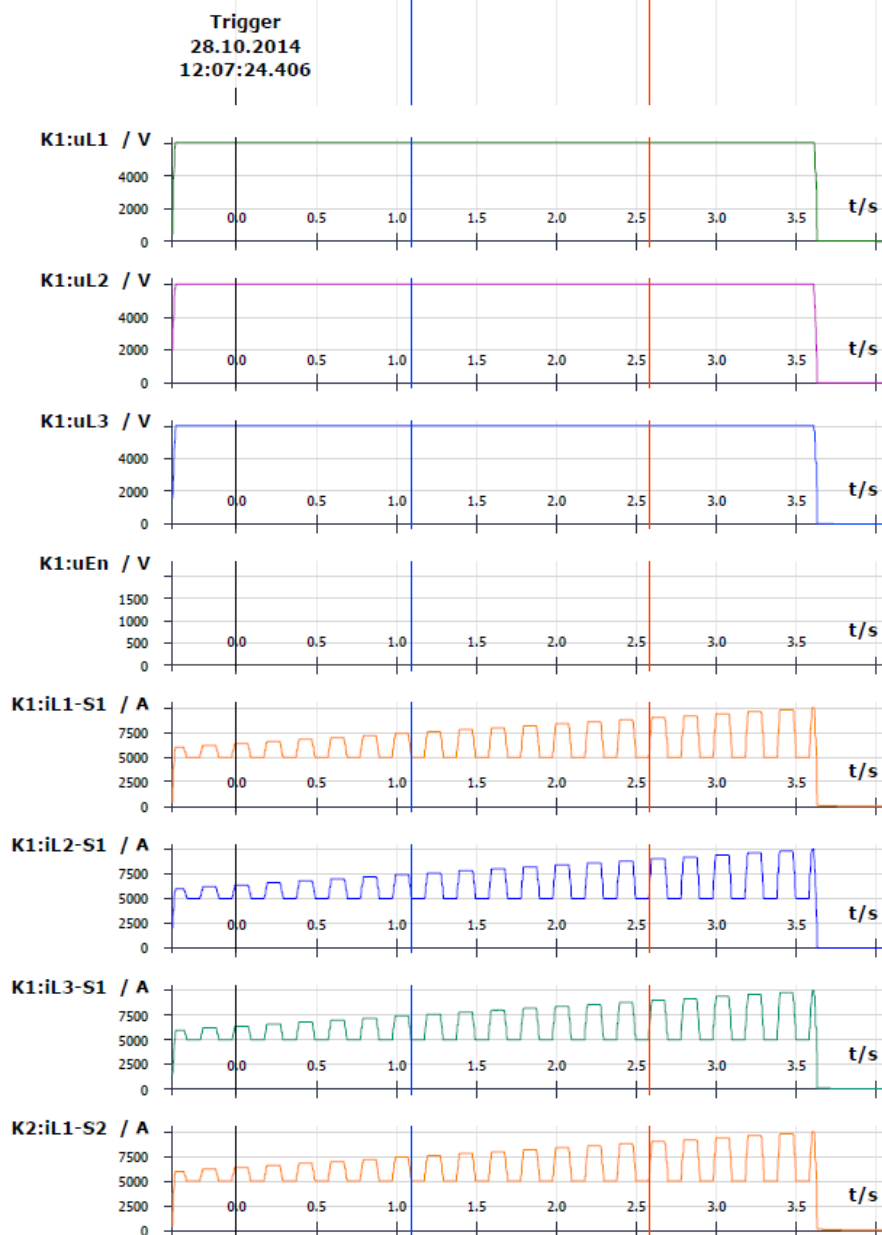
Name: 7UM621 V4.6 Var
Filename:
C:\PROGRAM FILES
(X86)\SIEMENS\STEP7\S7PROJ\RELEHAR\IP7DI\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000049
Fault start: 28.10.2014 12:07:24.006
Scanning frequency: 800 Hz

Cursor 1: 1090 ms
Cursor 2: 2580 ms
Representation: primary

13.11.2014 / 11:04:55 C:\PROGRAM FILES (X86)\SIEMENS\STEP7\S7PROJ\RELEHAR\IP7DI\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000049
SIGRA 4.5

7UM621 V4.6 Var

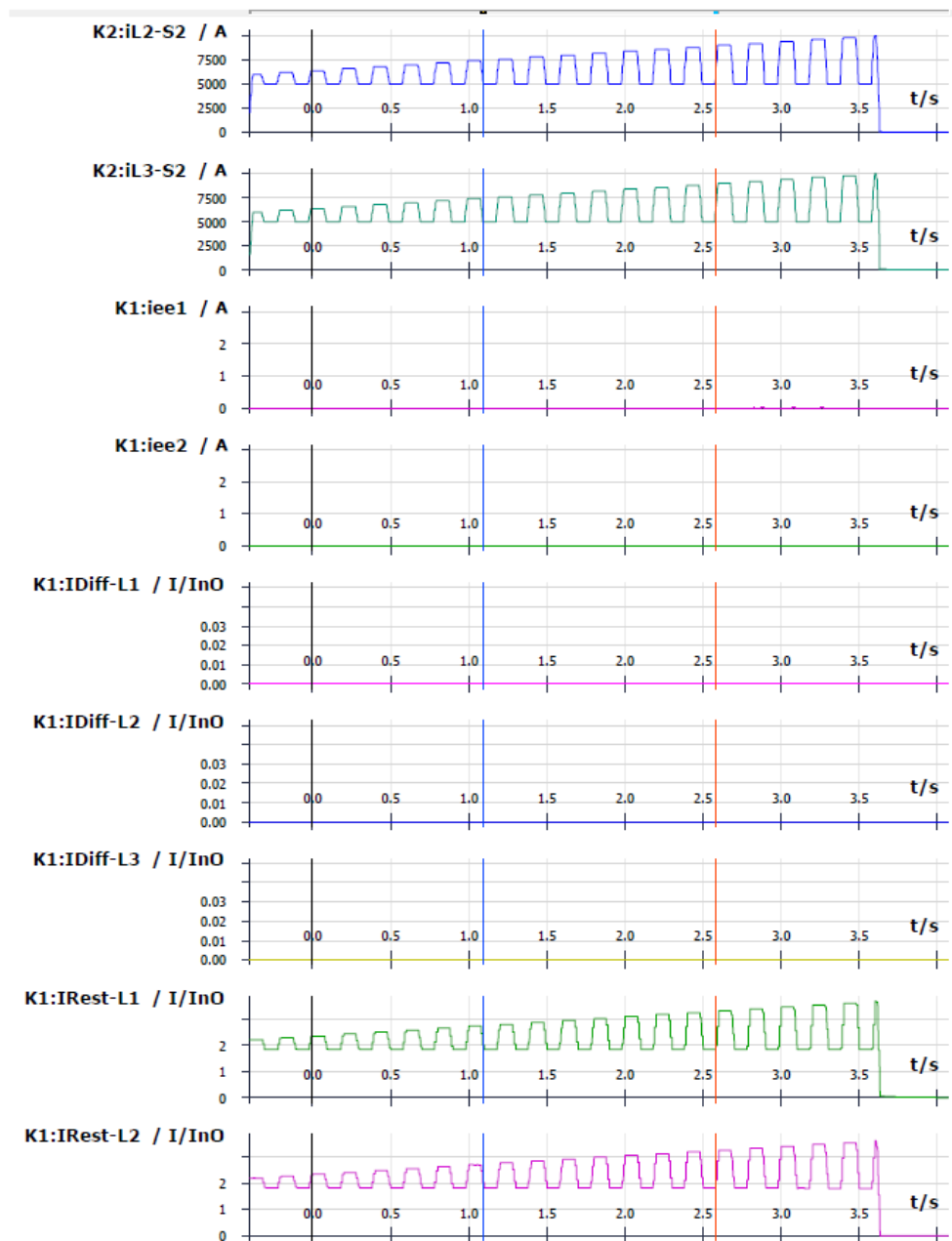
28.10.2014 / 12:07:24.406



13.11.2014 / 11:04:55 C:\PROGRAM FILES (X86)\SIEMENS\STEP7\PROJ\RELEHAR\IP7D\GV\ST00000004\SAMPLES\FAULT\FR000049
SIGRA 4.5

7UM621 V4.6 Var

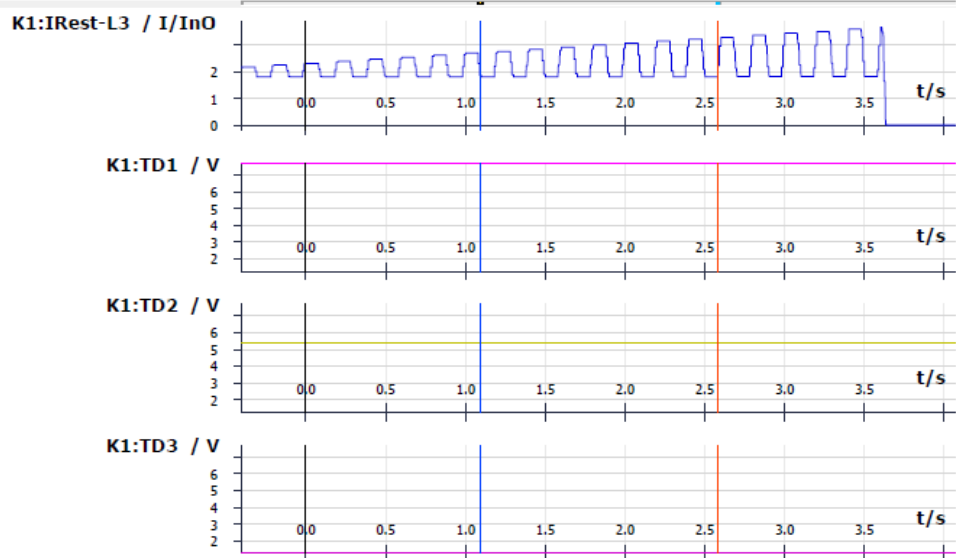
28.10.2014 / 12:07:24.406



13.11.2014 / 11:04:55 C:\PROGRAM FILES (X86)\SIEMENS\STEP7\S7PROJ\RELEHAR\IP7D\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000049
SIGRA 4.5

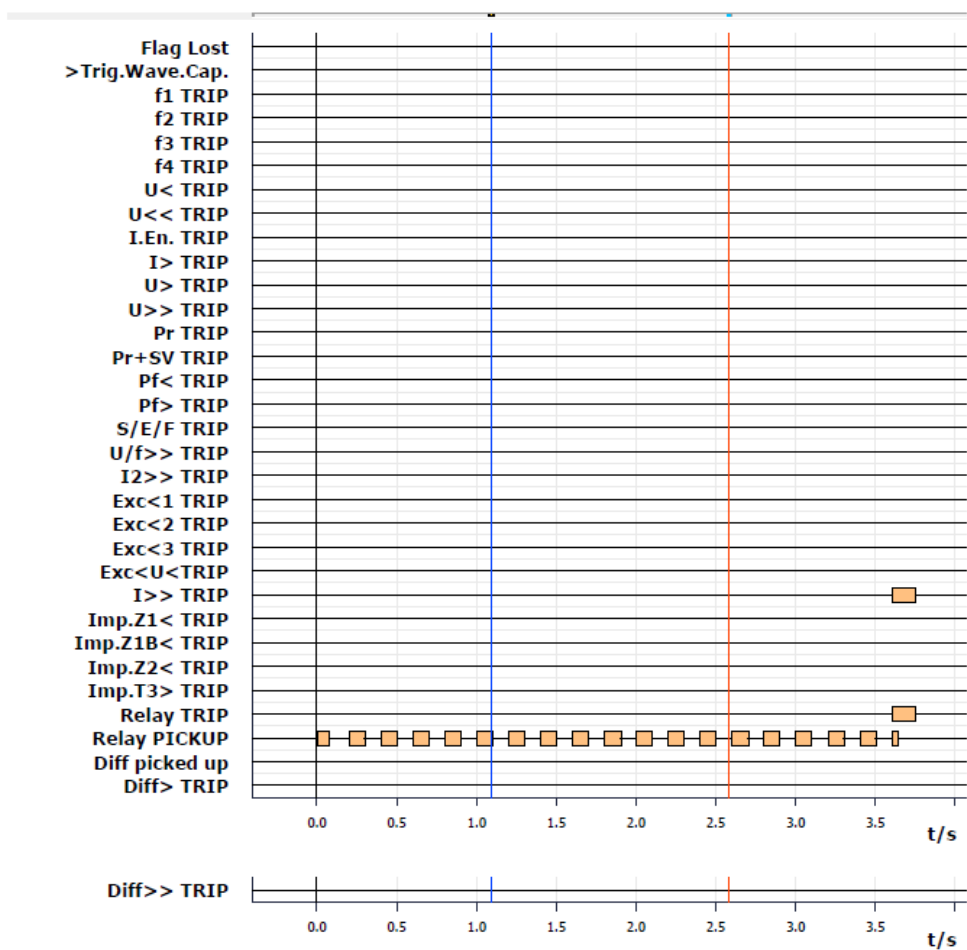
7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 12:07:24.406



7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 12:07:24.406



Heilahtelutallenne

7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 11:24:55.891

Name: 7UM621 V4.6 Var
Filename:
C:\PROGRA~2\SIEMENS\STEP7\STEP7\PROJECTS\RELEHARJ\IP7DI\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000048.cfg
Fault start: 28.10.2014 11:23:51.911
Scanning frequency: 50 Hz

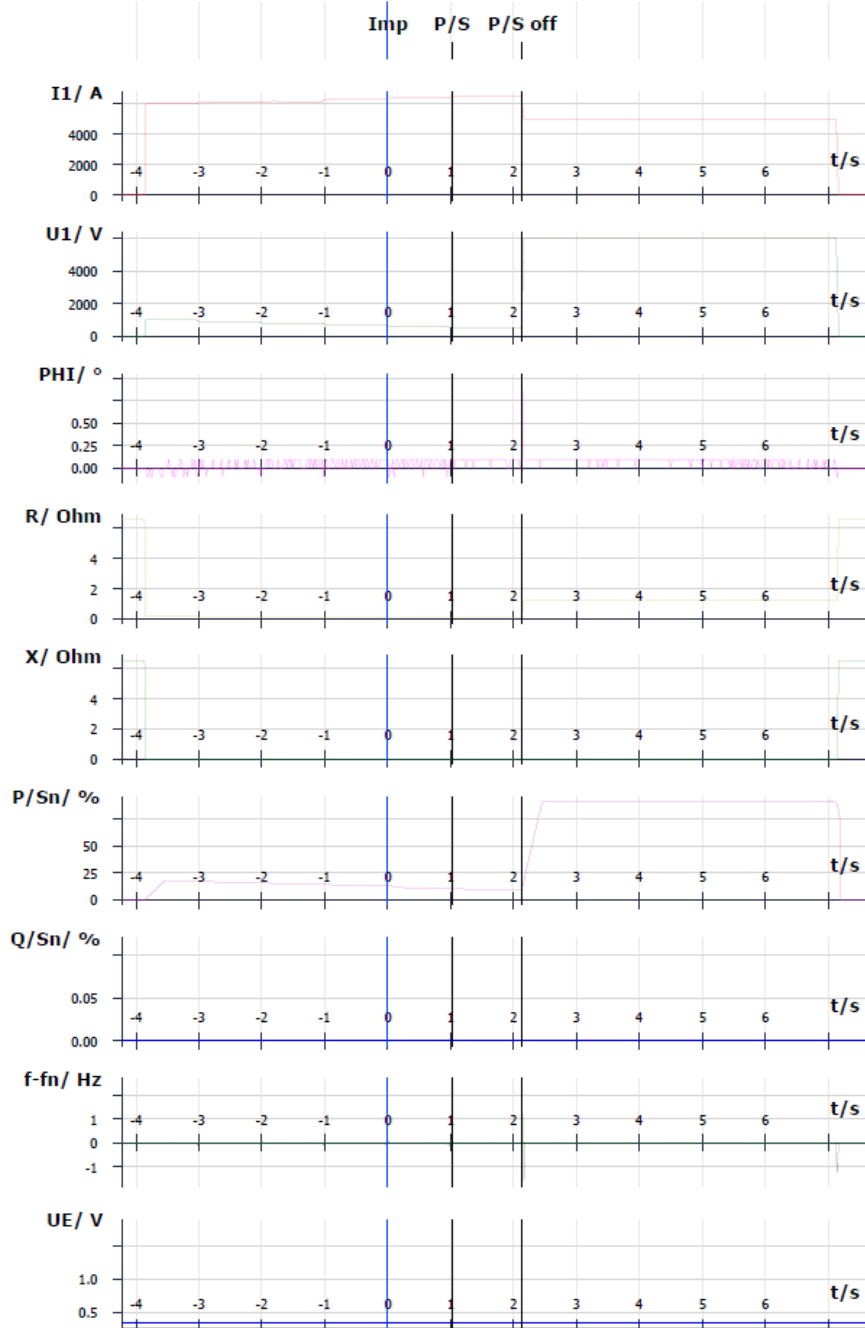
Cursor 1: -0 ms
Cursor 2: 8933 ms
Representation: primary

28.10.2014 / 10:41:53
SIGRA 4.5

C:\PROGRA~2\SIEMENS\STEP7\STEP7\PROJECTS\RELEHARJ\IP7DI\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000048.cfg

7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 11:24:55.891



28.10.2014 / 10:41:53
SIGRA 4.5

C:\PROGRA~2\SIEMENS\STEP7\STEP7\PROJECTS\LEHAR\JP7\DI\GV\ST\00000004\SAMPLES\FAULT\FR000048.cfg

7UM621 V4.6 Var

28.10.2014 / 11:24:55.891

